

XXI 253

INSTITUT FÜR BAUSTOFFKUNDE UND STAHLBETONBAU
DER TECHNISCHEN HOCHSCHULE BRAUNSCHWEIG
DIREKTOR: o. PROF. DR.-ING. KARL KORDINA



Abschlußbericht zum Forschungsauftrag

"Das Verhalten von Spannbetonbalken bei Beanspruchung
durch Feuer und Wärme"

von

o.Prof. Dr.-Ing. Karl Kordina

und

Dipl.-Ing. C. Meyer-Ottens

März 1963

Die Untersuchungen wurden im Auftrage des Niedersächsischen Kultus-
ministers mit Hilfe von Mitteln des Zahlenlottos durchgeführt.
Hannover, 21.6.1961, Az.: II A (1) 2220/61.

Postsendungen:
33 Braunschweig, Beethovenstraße 2

Fernsprecher: 478 281
Ortskennzahl 0531
Telegramm-Adresse: MPA Braunschweig

Besuchszeiten:
Montag bis Freitag 8-16 Uhr

DK 624.023.93 : 666.982

1. Allgemeines, Versuchsprogramm, Finanzierung

Im Auftrage des Niedersächsischen Kultusministers untersuchte das Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig

in Versuchsreihe I 5 Spannbetonträger a 5,0 m Länge und
in Versuchsreihe II 2 Spannbetonträger a 8,5 m Länge

zur Bestimmung der Feuerwiderstandsdauer nach DIN 4102, Ausgabe 1940. Die Versuche fanden an vorgespannten Trägern unter Belastung statt. Bei Versuchsreihe II wurden gleichzeitig die Temperaturen im Beton gemessen. **Außerdem wurden Erwärmungsversuche in Ergänzung zu**

Versuchsreihe II an 6 Spannbetonträgern a 4,5 m Länge
durchgeführt. Diese Versuche fanden an nicht vorgespannten Trägern und ohne Belastung statt und dienten nur zum Studium der **Erwärmungsvorgänge**.

Der Forschungsauftrag in seiner ursprünglichen Fassung vom 30.1.1961, Az. 63/B/wi, mit dem dazugehörigen Bewilligungsschreiben des Niedersächsischen Kultusministers, Hannover, vom 21.6.1961, Az.: II A (1) 2220/61, umfaßte zunächst folgende Prüfungen:

1. Untersuchungen an Spannbetonbalken geringer Länge zum Studium folgender Einflüsse:

- 1.1 Einfluß der Spannglieder
- 1.2 Einfluß der Betonüberdeckungen
- 1.3 Einfluß der Betonquerschnittsflächen
- 1.4 Einflüsse aus einer zusätzlichen schlaffen Bewehrung
- 1.5 Wirkungsweise von zusätzlichen Isolierschichten.

2. Warmzerreißversuche an verschiedenen Spannstählen

3. Großversuche an 5 Konstruktionen mit Trägern mit praxisüblicher Spannweite.

Für die Durchführung dieses Forschungsprogrammes waren 2 1/2 Jahre vorgesehen. Die geschätzten Gesamtkosten waren mit DM 25.000,-- veranschlagt.

Das Niedersächsische Kultusministerium bewilligte insgesamt nur DM 10.000,--. Mit diesem Betrag wurden die o.a. Versuche durchgeführt, die somit nur einen Bruchteil des geplanten Forschungsprogrammes darstellen. In den zwei o.a. genannten Versuchsreihen wurden u.a. variiert: die Querschnittsabmessungen der Träger (Querschnittsbreite, Querschnittsfläche, Stegdicke, Seitenverhältnis b:d), die Betonüberdeckungen der Spannstähle sowie der Bewehrungsgehalt.

2. Beschreibung der Prüfkörper

Anlage 1 gibt eine Übersicht über alle durchgeführten Prüfungen der Versuchsreihe I und II. Aus dieser Übersicht ist ebenfalls das Alter der einzelnen Probekörper ersichtlich.

Die Querschnittsabmessungen aller geprüften Spannbetonträger sind in Anlage 2 wiedergegeben. Die tabellarische Zusammenstellung dieser Anlage zeigt gleichzeitig die Verhältnismerte "d:t" und "100 s:d" der Stege im Vergleich

zu den Profilhöhen sowie die Querschnittsflächen von Untergurt, Steg und Obergurt. Die Gewichte der Träger in kg/m sind ebenfalls angegeben.

In Anlage 3 sind alle wichtigen Kennwerte über die Bewehrung und Vorspannung der Träger zusammengestellt. Die zulässigen Schnittkräfte - Q im Auflagerbereich und in Feldmitte sowie das maximale Feldmoment M - sind für die jeweils vorgesehene Vorspannung angegeben.

Aus Anlage 4 ist die Lage der in Anlage 3 beschriebenen Spannstähle ersichtlich. Die verschiedenen Betonüberdeckungen wurden in die Tabelle eingetragen. Die größten und kleinsten gemessenen Betonüberdeckungen nach den Brandversuchen sind als Klammerwerte unter den Mittelwerten angegeben; die Mittelwerte entsprachen etwa den rechnerischen Sollwerten. Aus Anlage 4 ist ferner die Lage aller Temperaturmeßstellen im Beton und an den Spannstählen ersichtlich.

Anlage 5 zeigt die Bügel- und Zusatzbewehrung der Spannbetonträger. Alle Einzelheiten über Durchmesser und Abstand dieser Bewehrungsstähle sind aus den dargestellten Längs- und Querschnitten sowie aus der aufgezeichneten Tabelle ersichtlich. Der bei Profil I 60/3 dargestellte Transportbügel (Pos. 8) wurde im freiliegenden Bereich - d.h. oberhalb des Obergurtes - für die Brandversuche jeweils abgeschnitten.

Der Beton bestand bei allen Trägern aus Portlandzement Z 475 nach DIN 1164 und einem Zuschlagstoff der Körnung 0/15 mm. Die nach DIN 1048 bestimmte Betondruckfestigkeit betrug mehr als 600 kg/cm^2 . Bei den Spannbetonträgern, Profil 28/5 und 60/3, bestand der Zuschlagstoff aus Rheinsand bzw. Rheinkies, bei den Spannbetonträgern mit den Profilen 90/1 und 120/1 aus sogenanntem Wesersand bzw. Weserkies.

Alle Träger wurden nach Art der Herstellung bis zum Einbau in die Brandhäuser im Freien im abgedeckten Zustand gelagert, so daß eine teilweise Austrocknung stattfinden konnte. Zur weiteren Austrocknung wurden alle zur Prüfung vorbereiteten Brandhäuser 3 Tage lang vor jedem Versuch mit je 2 Kokskörben beheizt. Die Temperaturen betrugen hierbei ständig 20 bis 60°C . Das Alter der Spannbetonträger am Tage der Prüfung ist aus Anlage 1 ersichtlich. Es betrug in jedem Fall - wie in DIN 4102, Ausgabe 1940, gefordert - mehr als 90 Tage.

3. Beschreibung der Versuchsdurchführung

3.1 Prüfung der 5.0 m langen Spannbetonträger (Versuchsreihe I)

Die in Abschnitt 2 beschriebenen 5 Spannbetonträger von 5,0 m Länge, Profilbezeichnung 28/5, wurden in zwei Lastfällen bei einer Stützweite von 4,00 m bei einer beflamten Länge von 3,80 m geprüft. Die Beflammung erfolgte dreiseitig; der Obergurt war an der oberen Seite durch Ytong-Dachplatten abgedeckt. Das zulässige Biegemoment wurde bei beiden Lastfällen stets voll ausgenutzt. Die Querkraft wurde dagegen im Lastfall 1 mit 73 % und dem Lastfall 2 mit 100 % der zulässigen Querkraft ausgenutzt. Die Lastanordnung und die statischen Größen sind auch aus Anlage 26 zu ersehen. Die Lage der Durchbiegungsmeßstellen ist ebenfalls aus dieser Anlage ersichtlich.

Die Befeuerng des Brandhauses erfolgte durch 2 Hochdruckölbrenner. Die Temperatur wurde nach der Einheitstemperaturkurve nach DIN 4102, Ausgabe 1940, gesteigert und mit 6 NiCrNi-Thermoelementen im Unter- und Obergurtbereich überwacht. Temperaturmeßstellen im Beton der Träger waren nicht angeordnet.

3.2 Prüfung der 8,5 m langen Spannbetonträger (Versuchsreihe II - Großversuche)

Für die zwei 8,5 m langen Spannbetonträger stand ein Brandhaus mit einer Stützweite von 8,0 m zur Verfügung. Es ist mit der Belastungsvorrichtung und einem eingebauten Träger (Profil I 60/3) in den Anlagen 6 und 7 dargestellt. Die Belastung erfolgte durch eine Streckenlast q (Ytong-Dachplatten) und durch 4 Einzellasten p , so daß in Feldmitte das zulässige Moment M_{zul} mit 100 % und an den Auflagern die zulässige Querkraft Q_{zul} mit rd. 94 % ausgenutzt wurde. Die Streckenlast $q = g + p$ wurde dabei jeweils durch das Eigengewicht g eines Trägers und durch die Dachabdeckung p des Brandhauses gebildet. Die 4 Einzellasten wurden mit Hilfe von jeweils drei Belastungsträgern I 22 über Rollen und pyramidenstumpfförmige Betonkörper fast punktförmig in Abständen von 1,0 : 2,0 : 2,0 : 2,0 : 1,0 m aufgebracht.

Die Beflammung des Brandhauses erfolgte von den Stirnseiten parallel zu den eingebauten Trägern mit 4 Hochdruckölbrennern. Durch die Abdeckung des Brandhauses mit den beschriebenen Ytong-Dachplatten wurden die Spannbetonträger wie bei Versuchsreihe I dreiseitig dem Feuerangriff ausgesetzt. Die Dachplatten waren dabei so angebracht, daß eine behinderungsfreie Durchbiegung der Träger (ebenfalls wie bei Versuchsreihe I) stattfinden konnte.

Die Temperaturen im Brandhaus wurden ebenfalls nach der Einheitstemperaturkurve DIN 4102, Ausgabe 1940, gesteigert. Die Temperaturmessung erfolgte hierbei mit 6 NiCrNi-Thermoelementen in einem Abstand von 10 cm von den Untergerücken der Spannbetonträger. Zur Kontrolle der Temperaturen im Obergurtbereich dienten 2 weitere NiCrNi-Thermoelemente. Die Temperaturen im Beton und an den Spannstählen der Spannbetonträger wurden zusätzlich mit Cu-Konst.-Thermoelementen überwacht. Die Messung der Durchbiegung erfolgte jeweils in Feldmitte. Die Lage der Temperaturmeßstellen ist aus Anlage 4, die Lage der Durchbiegungsmeßstelle ist aus Anlage 26 ersichtlich.

3.3 Prüfung der 4,5 m langen Spannbetonträger (Versuchsreihe II - Erwärmungsversuche)

Die 4,5 m langen nicht vorgespannten Spannbetonträger wurden bei einer Stützweite von 4,25 m geprüft. Es wurden stets zwei Träger gleichzeitig beflammt. Das zur Verfügung stehende Brandhaus mit zwei eingebauten Trägern, Profil I 120/1, ist in Anlage 8 dargestellt. Alle diese nicht vorgespannten Träger wurden ohne Belastung dem Feuerangriff ausgesetzt, wobei lediglich das Verhalten der Träger beobachtet und die Temperaturen im Beton und an den Spannstählen mit Cu-Konst.-Thermoelementen gemessen wurden.

Die Beflammung des Brandhauses erfolgte jeweils von der Stirnseite mit 2 bis 3 Hochdruckölbrennern. Die Ytong-Dachplatten lagen bei den Versuchen gleichzeitig auf den Trägern und auf der seitlichen Ummauerung des Brandhauses auf, so daß die Spannbetonträger wie bei den anderen Versuchen auch dreiseitig dem Feuerangriff ausgesetzt waren. Bei den Trägern, Profil I 28/5, trat während des Versuches eine Durchbiegung ein, so daß diese Träger nach etwa 20 Minuten Versuchsdauer auch vierseitig beflammt wurden.

Die Temperaturmessung und Steuerung erfolgte wie bei den anderen Versuchen der Versuchsreihe I und II. Die Temperaturmeßstellen sind in Anlage 4 dargestellt.

4. Versuchsergebnisse

4.1 Brandhaustemperaturen

Die Brandhaustemperaturen im Unter- und Obergurtbereich aller Spannbetonträger sind als Mittelwerte von 6 bzw. von 2 bis 3 Einzelmeßwerten in Anlage 9 wiedergegeben. Alle gemessenen Temperaturen lagen bis auf folgende Ausnahmen innerhalb des zulässigen Toleranzbereiches der Einheitstemperaturkurve, wie er in DIN 4102, Ausgabe 1940, angegeben ist:

1. Die Temperaturen bei der Prüfung aller Träger, Profil I 28/5 (Versuchsreihe I und II) lagen bei Versuchsbeginn bei 53 bzw. 70°C. Dies ist darauf zurückzuführen, daß das Brandhaus nach dem Vorheizen nicht mehr genügend auskühlen konnte. Ein Nachteil für den Versuch entstand hierdurch nicht.
2. Bei Versuch 1 des Trägers Profil I 60/3 lagen die Brandhaustemperaturen erheblich niedriger als nach DIN 4102 gefordert. Die zu geringe Temperatursteigung ist auf unzureichende Leistung der Brenner zurückzuführen. Beim Wiederholungsversuch (Versuch 2) konnten die Soll-Temperaturen einwandfrei erreicht werden.
3. Bei der Prüfung der Profile I 90/1 lagen die Temperaturen etwas und bei der Prüfung der Profile I 120/1 erheblich niedriger als nach DIN 4102 gefordert. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die durch die hohen Träger bedingten hohen Seitenräume zwischen den Trägern selbst und den Brandhauswänden bei der einmal gewählten Brennerführung und bei den vorhandenen Brandhausabmessungen nicht genügend erhitzt werden konnten.
4. Die Temperaturen im Obergurtbereich lagen aus dem zuletzt angeführten Grund bei allen Trägern niedriger als im Untergurtbereich.
5. Zu beachten ist, daß bei allen hier beschriebenen Versuchen die Trägerenden aus dem eigentlichen Brandraum herausragten und daher nicht befeuert wurden. Etwa mit dem theoretischen Auflagerpunkt beginnt der beflamnte Trägerbereich. Von dort zur Trägermitte hin ist ein Übergangsbereich anzunehmen, in welchem die Beton- und Stahltemperaturen geringer bleiben als an den Meßquerschnitten in Feldmitte. Diese Tatsache ist ebenfalls auf die gewählte Versuchseinrichtung und Brenneranordnung zurückzuführen.

Die in Anlage 9 tabellarisch zusammengefaßten Mittelwerte der Brandhaustemperaturen sind außerdem in den Anlagen 14 bis 17 graphisch dargestellt.

4.2 Temperaturen im Beton und an den Spannstählen der geprüften Spannbetonträger

Die gemessenen Temperaturen im Beton und an den Spannstählen sind in den Anlagen 10 bis 13 tabellarisch zusammengestellt. Sie sind außerdem in den Anlagen 14 bis 15 graphisch ausgewertet. Die mittlere Steigung der relativ geradlinig ansteigenden Temperaturen im Beton und an den Spannstählen der geprüften Träger wird als mittlere Aufwärmgeschwindigkeit bezeichnet. Diese mittlere Aufwärmgeschwindigkeiten sind in °C/min ebenfalls in den Anlagen 14 bis 17 eingetragen. Die Anlage 18 gibt eine Darstellung der mittleren Aufwärmgeschwindigkeiten in Abhängigkeit zu den Untergurt-Querschnittsflächen der geprüften Träger bzw. zu den Betonüberdeckungen. In Anlage 19 sind die

Isothermen für alle Spannbetonträger für die Zeitpunkte $t = 15$ und 30 min dargestellt. Aus diesen Anlagen 14 bis 19 können folgende, wesentliche Ergebnisse abgelesen werden:

1. Alle hervorspringenden Ecken der geprüften Spannbetonträger - insbesondere die Untergurtecken - erhitzen sich im Vergleich zu allen anderen Querschnittsteilen am schnellsten. Die Temperaturen überschritten bei einer unteren und seitlichen Betonüberdeckung von $2,5$ cm je nach Untergurtabmessungen 100°C in der Regel schon nach 5 bis 10 min und 400°C schon nach 25 bis 40 min. Die in den Untergurtecken festgestellte maximale Erwärmungsgeschwindigkeit bei 2 cm Betonüberdeckung (untere und seitliche Betonüberdeckung) betrug 16°C/min .
2. Die Erwärmungsgeschwindigkeit von Stellen gleicher Betonüberdeckung wurde mit zunehmender Querschnittsbreite und zunehmender Querschnittsfläche (Masse) der geprüften Spannbetonträger geringer. Die geringste Erwärmungsgeschwindigkeit ergab sich stets in der Symmetrieachse der Träger. (Vergl. Anlage 18 und 19)
3. Je stärker die I-Form der Spannbetonträger ausgebildet ist - d.h. je schlanker die Träger konstruiert und je dünner die Träger ausgeführt werden -, desto unabhängiger voneinander erfolgt die Erwärmung der Obergurt-, Steg- und Untergurtbereiche. Die einzelnen Querschnittsteile können bei ausgeprägten I-förmigen Trägern ($d:b_u > 1$, t relativ dünn) daher erwärmungstechnisch unabhängig voneinander beurteilt werden.
4. Die Erwärmungsgeschwindigkeit an vergleichbaren Meßstellen (gleiche Betonüberdeckung) nimmt nicht nur mit zunehmender Querschnittsbreite ab (s. Pkt. 2), sondern in ähnlicher Weise auch mit zunehmender Querschnittsfläche (Betonmasse). Je dünner die Stege waren und je weniger Querschnittsfläche die Ober- und Untergurte im einzelnen besaßen, um so schneller wurden diese Teile erhitzt. Je größer die Masse war, um so mehr konnte die Wärme zunächst aufgenommen und zum Querschnittsinnern abgeführt werden. Infolge dieser Vorgänge wurden alle dünnen Stege und bei Profil I 28/5 auch die relativ kleinen Unter- und Obergurte erheblich schneller erhitzt als die massigeren Ober- und Untergurte der übrigen Träger.

Die Temperaturen überschritten 100°C in Stegmitte je nach Dicke der Stege bereits nach etwa 5 bis 10 Minuten. Sie erreichten teilweise 400°C schon nach 25 bis 35 Minuten.

Die Spannstähle in den Untergurten der Träger I 60/3, I 90/1 und I 120/1 erreichten bei gleicher Betonüberdeckung 100°C je nach Untergurt-Querschnittsgröße erst nach 10 bis 15 Minuten ($\bar{u} = 2,5$ cm) bzw. nach 15 - 25 Minuten ($\bar{u} = 4,5$ cm).

5. Infolge der uneinheitlichen Erwärmung der Brandhäuser - siehe Abschnitt 4.1 Brandhaustemperaturen - wurden die seitlichen Betonzonen der Ober- und Untergurte insbesondere bei den großen Querschnitten teilweise bis zu 50 % langsamer erwärmt als die Unterseiten bzw. unteren Betonzonen der Unter- und Obergurte. Die Ursache hierfür liegt in der andersartigen Konvektion und Strahlung.

Die Obergurte der hohen Spannbetonträger I 60/3, I 90/1 und I 120/1 erwärmten sich infolge dieser geringeren Feuerbeanspruchung zum Teil erheblicher langsamer als die Untergurte. Einzelheiten sind aus den Anlagen 14 bis 19 zu ersehen.

4.3 Beobachtungen während der Versuche, erreichte Feuerwiderstandsdauer

Die wichtigsten Beobachtungen während der Versuche sind in Anlage 20 tabellarisch zusammengefaßt. Sie umfassen die jeweiligen Beobachtungszeitpunkte bezüglich Wasseraustritt aus den Profilen und geben Größe und Zeitpunkt von Betonabplatzungen wieder. Aus der letzten Zeile dieser Anlage sind die Feuerwiderstandszeiten der Träger angegeben, die nach Norm unter Last geprüft wurden.

Wasseraustritt konnte bei den Spannbetonträgern I 60/3, I 90/1 und I 120/1 an den Untergurten im Mittel nach 8 Minuten und an den Stegen und Obergurten im Mittel nach 18 bzw. 20 Minuten beobachtet werden. Das Wasser spritzte dabei teilweise unter Druck aus einzelnen Poren oder trat auf einer Fläche von etwa 1 cm² an die Betonoberfläche und verdampfte. Bei Versuchsende hörte bei diesen Trägern der Wasseraustritt noch nicht auf.

Bei den Trägern I 28/5 der Versuchsreihe II konnte im Gegensatz hierzu während der gesamten Versuchszeit kein Wasseraustritt beobachtet werden. Dies kann auf die Vorheizung des Brandhauses und die damit verbundene starke Austrocknung der Betonträger zurückgeführt werden (vergl. Abschnitt 4.1 und Anlage 14).

Kleinere Betonabplatzungen traten bei den Spannbetonträgern I 60/3, I 90/1 und I 120/1 in der Regel an den Unter- und Obergurtecken nach 13 bis 17 Minuten auf. Die Temperaturen lagen zu diesen Zeitpunkten an den betreffenden Stellen zwischen 100 und 200°C. Kleinere Stegabplatzungen wurden zwischen 7 und 25 Minuten beobachtet. Diese Abplatzungen vergrößerten sich teilweise in den darauffolgenden Versuchsminuten. Gleichzeitig traten neue größere Abplatzungen an den Unter- und Obergurtecken sowie an den Stegen auf. Die Temperaturen stiegen hierbei in den betreffenden Querschnittsteilen bis über 400°C an.

Explosionsartige Großabplatzungen, die den gesamten Steg in Längen von etwa 40 bis 80 cm völlig zerstörten, traten beim Profil I 60/3 nach 20 und 23 Minuten und bei den Profilen I 90/1 und I 120/1 nach 40 bis 42 Minuten ein. Da die Spannbetonträger I 60/3 unter Last geprüft wurden, trat hierdurch unmittelbar der Einsturz ein. Bei den Trägern I 90/1 und I 120/1 wurden die Versuche infolge dieser Abplatzungen wenig später abgebrochen. Die Anlagen 21 bis 25 zeigen die beschriebenen Betonabplatzungen bei Versuchsende.

Bei den Trägern I 28/5 der Versuchsreihe II traten während der gesamten Versuchszeit im Gegensatz zu den anderen Profilen keine Betonabplatzungen auf. Dies ist vermutlich - wie schon oben erwähnt - auf die starke Austrocknung der Träger zurückzuführen. Als die Temperaturen in den meisten Querschnittsteilen nach 50 Minuten mehr als 650°C betrugen, wurde der Versuch mit diesen Trägern ebenfalls abgebrochen. Die Spannbetonträger I 28/5 der Versuchsreihe I, die unter Last geprüft wurden, zeigten nur kleinere Betonabplatzungen an den unteren Ecken des Untergurtes zwischen der 11. und 24. Minute. Gefährliche Betonabplatzungen wurden hier nicht beobachtet.

Wie aus der untersten Zeile der Anlage 20 ersichtlich ist, erreichten die Spannbetonträger I 28/5 der Versuchsreihe I unter der in Abschnitt 3.1 beschriebenen Belastung eine Feuerwiderstandsdauer von 31 bis 37 Minuten. Bis zum Einsturz erfuhren die Spannbetonträger eine erhebliche Durchbiegung, wie sie im folgenden Abschnitt näher beschreiben ist. Die geprüften Spannbetonträger I 28/5, Versuchsreihe I, können als feuernemmend nach DIN 4102, Ausgabe 1940, betrachtet werden.

Die Spannbetonträger I 60/3 der Versuchsreihe II zeigten im Gegensatz hierzu keine starken Durchbiegungen. Die oben beschriebenen großen explosionsartigen Abplatzungen führten in der 20. bzw. 23. Versuchsminute unmittelbar zum Einsturz. Infolge dieser Betonabplatzungen können diese geprüften Träger nicht als feuerhemmend nach DIN 4102 bezeichnet werden.

Die übrigen Spannbetonträger I 28/5, I 90/1 und I 120/1 der Versuchsreihe II wurden alle ohne Belastung nur zum Studium der Erwärmungsvorgänge geprüft. Die Feuerwiderstandsdauer kann daher nicht ohne weiteres angegeben werden.

4.4 Durchbiegungen während der Versuche

Die Durchbiegungen während der Versuche wurden nur bei den Spannbetonträgern, Profil I 28/5, Versuchsreihe I u. I 60/3, Versuchsreihe II, gemessen, die, wie in Abschnitt 2 und 3 beschrieben, unter Belastung nach Norm geprüft wurden. Alle festgestellten Werte sind tabellarisch und graphisch in Anlage 26 wiedergegeben. Daraus ist ersichtlich, daß die Versuchsträger I 28/5 bis zum Einsturz eine Durchbiegung von $f \geq 120 \text{ mm} \sim 1/33$ bis $1/25$ besaßen. Die Durchbiegungen bei den Spannbetonträgern I 60/3 erreichten dagegen nur einen Wert von rd. 40 mm entsprechend $1/200$.

Durchbiegungen wurden weiterhin bei der Prüfung der nicht vorgespannten Träger bei I 28/5, Versuchsreihe II, beobachtet. Sie wurden nach rd. 25 Min. Versuchsdauer sichtbar und erreichten bei Versuchsende einen Wert von etwa 25 cm. Die Träger zeigten hierbei kleinere Risse im Untergurt und Steg bis zu einer Breite von rd. 3 mm.

An den nicht vorgespannten Trägern I 90/1 und I 120/1 (Versuchsreihe II) wurden infolge der großen Querschnittsabmessungen keine Durchbiegungen und keine Biegerisse beobachtet.

5. Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

5.1 Prüfung der 5,0 m langen Spannbetonträger, Profil I 28/5, Versuchsreihe I

Es wurden 5 Spannbetonträger bei einer Stützweite von 4,00 m und einem Betonalter von 300 bis 330 Tagen unter Belastung nach DIN 4102, Ausgabe 1940, geprüft. Die untersuchten Träger erreichten eine Feuerwiderstandsdauer von 31 bis 37 Minuten. Größere Betonabplatzungen wurden nicht beobachtet.

5.2 Prüfung der 8,5 m langen Spannbetonträger, Profil I 60/3, Versuchsreihe II

Es wurden zwei 60 cm hohe Spannbetonträger bei 8,5 m Stützweite und einem Betonalter von 97 bzw. 147 Tagen unter Belastung nach DIN 4102, Ausgabe 1940, geprüft. Sie erreichten eine Feuerwiderstandsdauer von 20 bzw. 23 Minuten. Der Einsturz trat jeweils infolge größerer Betonabplatzungen an den Stegen und Obergurten ein.

5.3 Prüfung der 4,5 m langen Spannbetonträger, Profile I 28/5, I 90/1 und I 120/1, Versuchsreihe II

Es wurden 6 nicht vorgespannte Spannbetonträger bei einer Stützweite von 4,25 m und einem Betonalter von 92 bis 157 Tagen ohne Belastung zum Studium der Erwärmungsvorgänge im Beton in Anlehnung an DIN 4102, Ausgabe 1940,

geprüft. Die Träger besaßen jeweils Höhen von 28, 90 und 120 cm, Untergurtbreiten von 15, 25 und 30 cm und Stegdicken von 5, 8 und 9 cm. Es wurden von jedem Träger zwei Profile geprüft.

Die Temperaturmessungen ergaben eine besonders schnelle Erwärmung der Untergurtecken, der dünnen Stege und aller dünnen Querschnittsteile überhaupt. Die Erwärmungsgeschwindigkeit an vergleichbaren Meßstellen nahm nicht nur mit zunehmender Querschnittsbreite, sondern in ähnlicher Weise auch mit zunehmender Querschnittsfläche (Masse) ab. Die erreichten Temperaturen sind im einzelnen in Abschnitt 4.2 und in den Anlagen 10 bis 19 wiedergegeben. In Abschnitt 4.3 und in Anlage 20 werden die z.T. großen Betonabplatzungen an den Stegen und an den Ober- und Untergurtecken beschrieben. Die Versuche wurden jeweils abgebrochen, nachdem die Stege der Träger I 90/1 und I 120/1 durch explosionsartige Betonabplatzungen in Längen von 40 bis 80 cm völlig zerstört wurden bzw. nachdem die Betontemperaturen in den Trägern I 28/5 über 650°C angestiegen waren.

6. Deutung der Versuche

6.1 Erwärmungsversuche - Feuerwiderstandsdauer

Die Versuchsergebnisse können zur Beurteilung der Feuerwiderstandsdauer von einachsig gespannten, statisch bestimmt gelagerten Spannbetonbalken herangezogen werden. Für diesen Fall erbringt die auf der kritischen Stahltemperatur beruhende Bruchtheorie (1) brauchbare Ergebnisse, wenn vorausgesetzt wird, daß gefährliche Betonabplatzungen nicht auftreten. Die Feuerwiderstandsdauer errechnet sich dann aus der Formel

$$t_{\text{Bruch}} = \frac{450^{\circ}}{c}$$

t_{Bruch} = Feuerwiderstandsdauer in Minuten

450°C = kritische Temperatur von Spannstählen St 145/160

c = mittlere Erwärmungsgeschwindigkeit

In Anlage 18 wurde versucht, die Erwärmungsgeschwindigkeiten c in Abhängigkeit von Betonüberdeckung und Betonquerschnittsfläche darzustellen. Die Streuung der Versuchsergebnisse und der Vergleich mit den Meßergebnissen der ausländischen Literatur (2, 3) zeigen, daß noch weitere Versuche notwendig sind, um die Erwärmungsvorgänge systematisch zu erfassen. Die vorliegenden Versuchsergebnisse haben nur beschränkte Aussagefähigkeit.

6.2 Abplatzungen

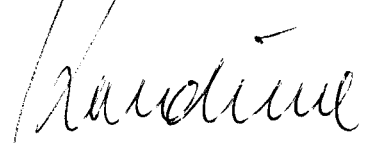
Bei den durchgeführten Versuchen wurden erstmals Betonabplatzungen größeren Umfanges festgestellt. Sie führten in den zwei unter Belastung durchgeführten Versuchen der Versuchsreihe II (Profil I 60/3) zum Versagen der

Träger. Alle Betonabplatzungen traten zum Zeitpunkt des Wasseraustrittes an den Trägern auf. Neben den großflächigen explosionsartigen Abplatzungen an den Stegen traten im wesentlichen auch Betonabplatzungen an den sehr schnell erwärmten Ecken und Kanten auf. Es wird vermutet, daß


1. Eigenspannungen infolge ungleichmäßiger Erwärmung,
2. Wasserdampfspannungen im Betongefüge,
3. Spannungen im Zuschlagstoff und
4. Gefügelockerungen

die Hauptursachen der Abplatzungen darstellen. Die vorliegenden Versuche sowie der älteren Erfahrungen (1 - 4) reichen jedoch noch nicht aus, um eine umfassende Klärung der Ursachen der Abplatzungen zuzulassen. Zur Klärung der Zusammenhänge sind unbedingt weitere Versuche notwendig.

Der Direktor


(o. Prof. Dr.-Ing. Kordina)

Der Sachbearbeiter


(Dipl.-Ing. Meyer-Ottens)

Braunschweig, den 1.3.1963

Literaturzusammenstellung

- (1) Kordina, K., Meyer-Ottens, C.: Die Widerstandsfähigkeit von biegebeanspruchten Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen gegen Feuer. Sonderdruck aus "Die Bauwirtschaft", Heft 6/7 (1963), Verlag Chmielorz, Wiesbaden
Kordina, K.: Das Verhalten von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen unter Feuerangriff
Sonderdruck aus beton Herstellung Verwendung 13 (1963), Heft 1 u. 2, S. 11-18 u. 81-84, Beton-Verlag GmbH, Düsseldorf.
- (2) Haas, Ophorst, Rengers (Commissie voor Uitvoering van Research), Brandproeven op voorgespannen Betonliggers. CUR-Rapport 4 und 13 (1958).
- (3) Gustaferro, A., Carlson, C.C.: An Interpretation of Results of Fire Tests of Prestressed Concrete Building Components.
- (4) Ashton, L.A., Bate, S.C.: The Fire-Resistance of Prestressed concrete Beams.
The Institution of Civil Engineers, London (1960).

Anlagen - Verzeichnis

<u>I. Prüfkörper</u>	Anlage
Übersicht über die durchgeführten Prüfungen - Prüfkörperalter (Tabelle)	1
Querschnittsabmessungen (Tabelle)	2
Bewehrung - Statistische Kennwerte (Tabelle)	3
Längsbewehrung und Temperaturmeßstellen; Größe der Beton- überdeckungen (Tabelle und Zeichnung)	4
Bügel- und Zusatzbewehrung (Zeichnung)	5
 <u>II. Versuchsdurchführung</u>	
Brandhaus-Abmessungen (8,00 m); Lage der Spannbetonträger, Profil 60/3; Belastungsvorrichtung (Zeichnung)	6
Eingebauter 8,5 m langer Träger, Profil 60/3 (Photo)	7
Brandhaus-Abmessungen (4,25 m); Lage der Spannbetonträger (Zeichnung)	8
 <u>III. Versuchsergebnisse</u>	
Brandhaus-Temperaturen	9
Temperaturen im Beton und an den Spannstählen (Tabellen)	
bei Profil 28/5	10
bei Profil 60/3	11
bei Profil 90/1	12
bei Profil 120/1	13
Temperaturen im Beton und an den Spannstählen (Zeichnungen)	
bei Profil 28/5	14
bei Profil 60/3	15
bei Profil 90/1	16
bei Profil 120/1	17
Mittlere Aufwärmgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von Unter- gurt-Querschnittsfläche und Betonüberdeckung (Zeichnung)	18
Nach Anlage 18 konstruierte Temperaturverteilungen (Isothermen)	19
Beobachtungen während der Versuche - Übersicht (Tabelle)	20
Betonabplatzungen an den Trägern 60/3, 90/1 und 120/1 (Photos)	21-25
Durchbiegungen an den Trägern 28/5 und 60/3 (Tabelle und Zeichnung)	26

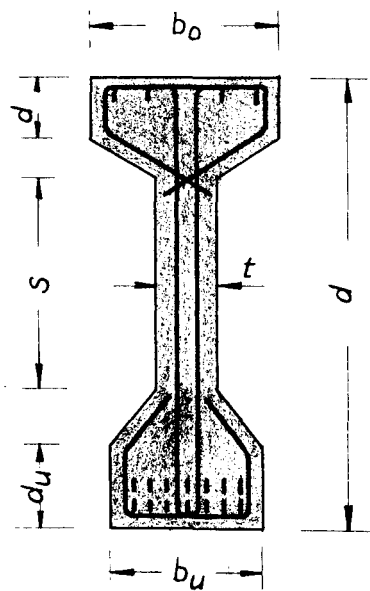
Anlage 1

Übersicht über die durchgeführten Prüfungen - Prüfkörperalter

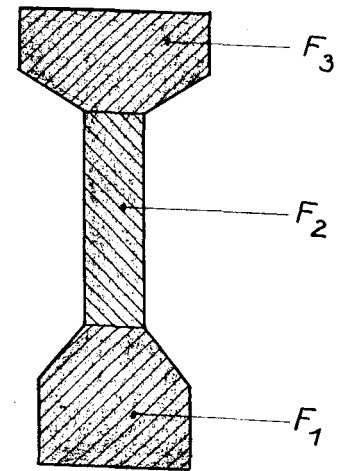
Versuchsreihe	Profil-Bezeichnung	Prüfkörper-Anzahl	Stützweite bei der Prüfung in m	P r ü f u n g	Prüfkörperalter in Tagen
I	28/5	5	4,00	Bestimmung der Feuerwiderstandsdauer nach DIN 4102, Ausgabe 1940. Versuche an vorgespannten Trägern <u>mit</u> Belastung aber ohne Messung der Temperaturen im Beton.	300 bis 330
II	60/3	2	8,00	Bestimmung der Feuerwiderstandsdauer nach DIN 4102, Ausgabe 1940. Versuche an vorgespannten Trägern <u>mit</u> Belastung. Gleichzeitige Messung der Temperaturen im Beton.	Vers.1: 97 Vers.2: 147
	28/5	2	4,25	Bestimmung der Erwärmungsvorgänge im Beton durch Temperaturmessungen.	157
	90/1	2	4,25	Versuche an <u>nicht</u> vorgespannten Trägern <u>ohne</u> Belastung.	99
	120/1	2	4,25		92

Anlage 2

Querschnittsabmessungen der Profile in cm



Bezeichnungen



Bezeichnung	P r o f i l			
	28/5	60/3	90/1	120/1
d cm	28	60	90	120
t cm	5	8	8	9
d : t -	5,5	7,5	11,2	13,2
s cm	11	28,4	54,7	71,1
100 s : d [%]	39	48	61	60
b_u cm	15	20	25	30
d_u cm	5	11	10	15
b_o cm	15	25	35	40
d_o cm	6	8	7	12
F ₁ cm ²	95	325	418,3	695,7
F ₂ cm ²	55	227,2	437,6	639,9
F ₃ cm ²	130	284,2	419,2	707,9
F _{gesamt} cm ²	280	836,4	1675,1	2043,5
Gewicht kg/m	67	201	306	490

Anlage 3

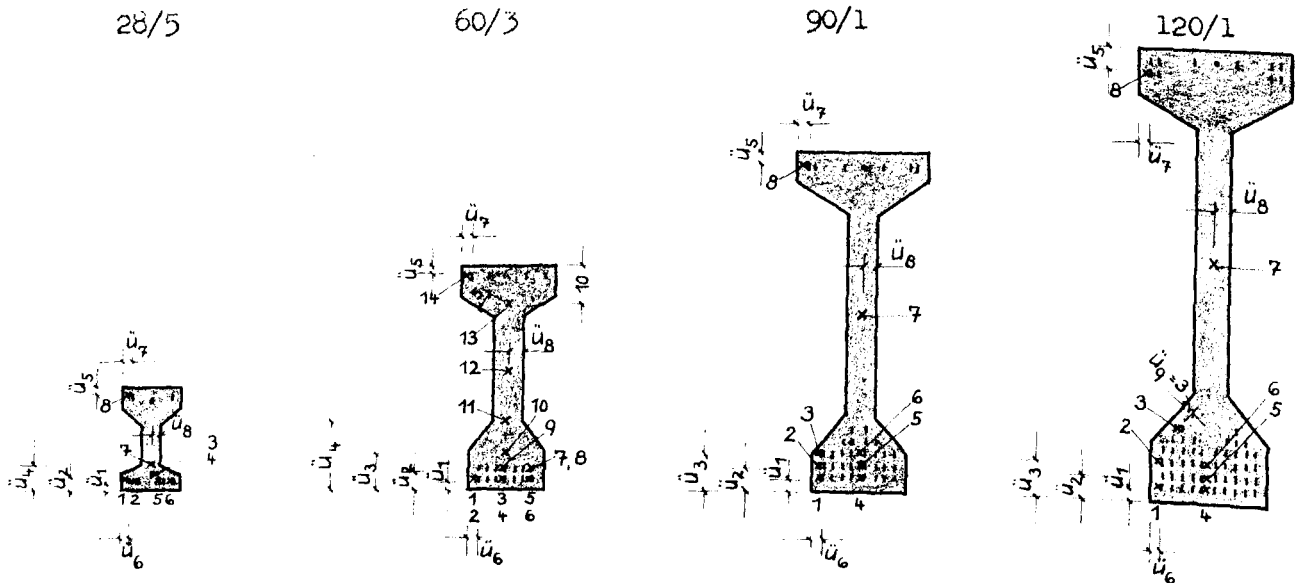
Bewehrung - Statische Kennwerte (Lage der Längsbewehrung siehe Anlage 4)

Bezeichnung	P r o f i l ¹⁾			
	28/5	60/3	90/1	120/1
<u>Spannstähle im U-Gurt</u>				
Sigma-Spannstahl St 145/160				
gerippte Ovaldrähte				
Gesamtanzahl	5	14	30	48
Anzahl der Bewehrungslagen	1	2	5	6
Einzel-Querschnitt f [cm ²]	0,2	0,3	0,4	0,4
Gesamt-Querschnitt F [cm ²]	1,0	4,2	12	19,2
Vorspannung ¹⁾ $\left\{ \begin{array}{l} \text{kg/Draht} \\ \text{kg/cm}^2 \end{array} \right.$	1493 7468	2520 8400	3665 9162	3630 9075
<u>Spannstähle im O-Gurt</u>				
Sigma-Spannstahl St 145/160				
gerippte Ovaldrähte				
Gesamtanzahl	3	4	6	10
Einzel-Querschnitt f [cm ²]	0,2	0,2	0,3	0,3
Gesamt-Querschnitt F [cm ²]	0,6	0,8	1,8	3,0
Vorspannung ¹⁾ $\left\{ \begin{array}{l} \text{kg/Draht} \\ \text{kg/cm}^2 \end{array} \right.$	nicht bekannt "	1300 6500	1950 6500	1950 6500
<u>Schlaffe Bewehrung im O-Gurt</u>				
zusätzlich	-	-	1 StRIIIa Ø 6	1 StRIIIa Ø 5
<u>Stegbewehrung</u>				
Bügel: Sigma St 145/160 f cm ² St R III a Ø mm	Stegmatte und Bügel	0,3 6, 8 u. 10	0,3 6, 7 u. 8	0,3 6, 7, 10 u. 12
<u>Betongüte</u>				
	B 600	B 600	B 600	B 600
<u>zul Q (Auflager)</u> t	2,47	8,604	13,483	20,248
<u>4/7 zul Q (Feldmitte)</u> t	1,41	4,92	7,70	11,55
<u>zul M ¹⁾</u> tm	1,8	16,108	55,053	119,496

- 1) Versuchsreihe I Profil 28/5
 Versuchsreihe II Profil 60/3
 Versuchsreihe II Profile 28/5, 90/1 und 120/1
- } wurde mit Vorspannung geprüft
 wurden ohne Vorspannung
 geprüft
- (Vergleiche hierzu Anlage 1)

Anlage 4

Längsbewehrung und Temperaturmeßstellen; Größe der Betonüberdeckungen

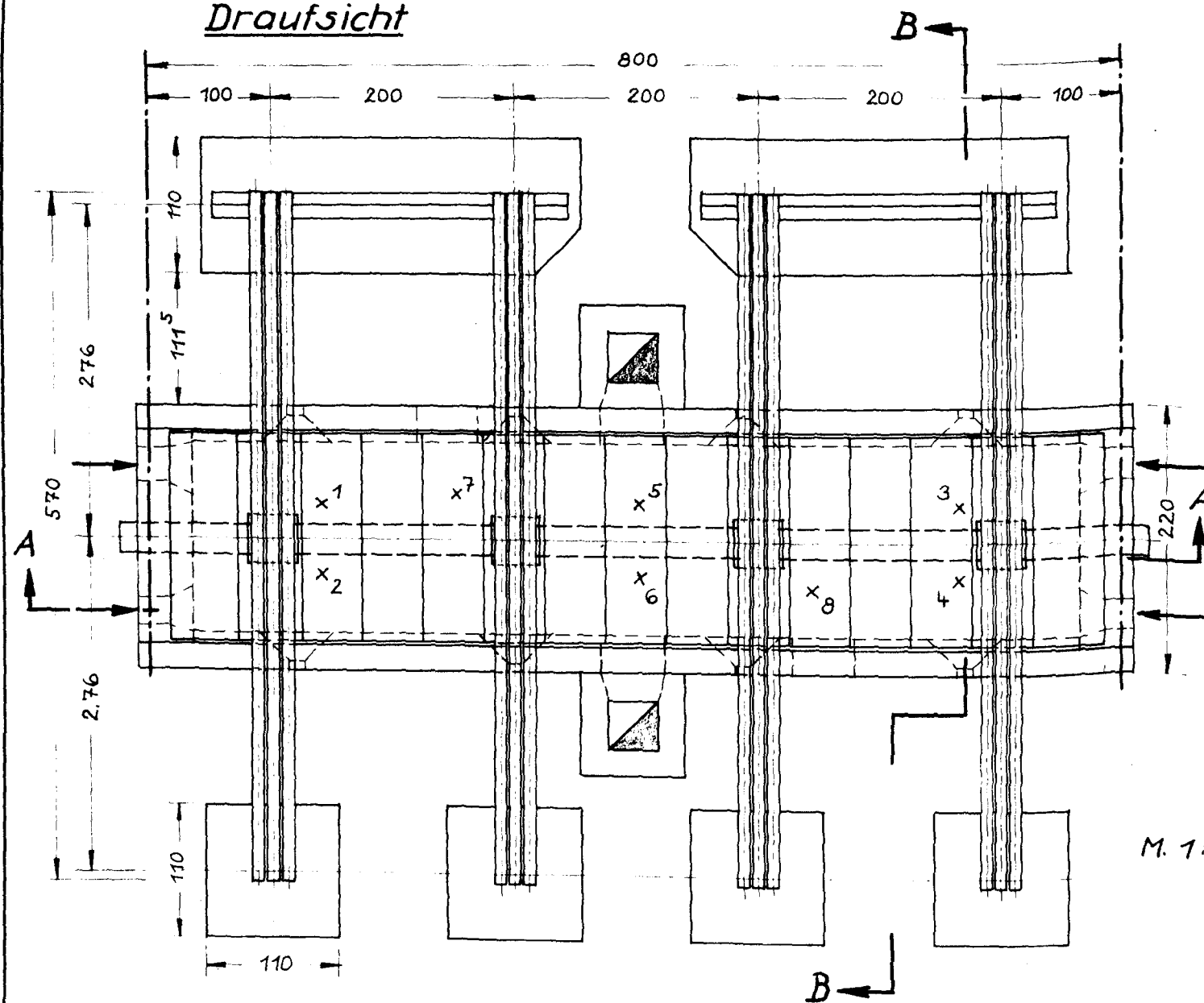


Angaben über Längsbewehrung siehe Anlage 3

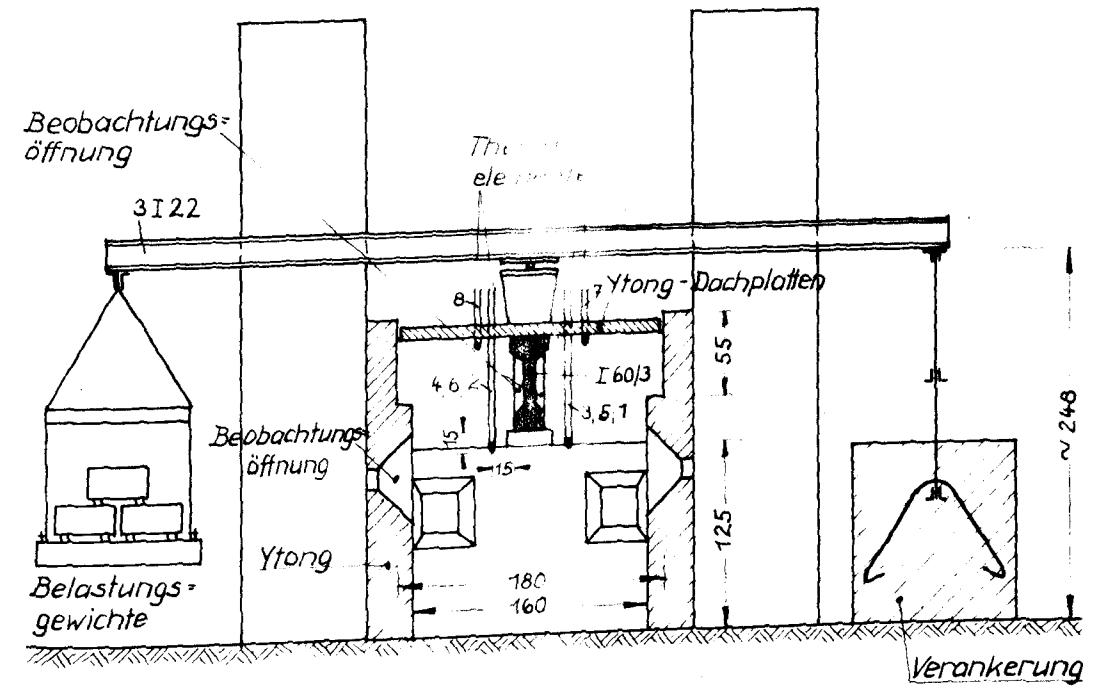
Überdeckungen \ddot{u} in cm (Mittelwerte) ¹⁾	28/5	60/3	90/1	120/1
\ddot{u}_1	2 (1,4-2,6)	2,5 (2,4-3,0)	3 (2,5-3,5)	3 (2,3-3,6)
\ddot{u}_2	3,3	5,3	6	6
\ddot{u}_3	-	10	9,4	9,4
\ddot{u}_4	7	18,5	-	-
\ddot{u}_5	2,2 (1,8-3,2)	2	3	6
\ddot{u}_6	2 (1,4-3,6)	2,8 (2,1-2,9)	3 (1,5-3,1)	3 (1,3-3,1)
\ddot{u}_7	2,5 (2,2-2,8)	2,8 (2,6-3,2)	3 (2,4-3,2)	3 (2,6-3,2)
\ddot{u}_8	2,5	4	4	4,5
Abstand: Bügel bis Stegoberkante	-	0,0-2,0	0,1-2,0	0,2-1,8

1) Klammerwerte sind Grenzwerte; sie ergaben sich an Hand von 3 bis 5 Stichproben-Messungen an den Prüfkörpern.

Draufsicht

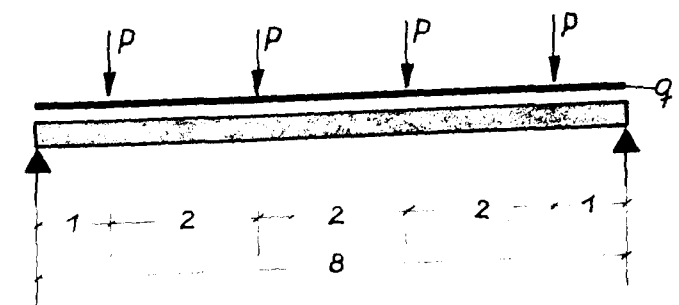
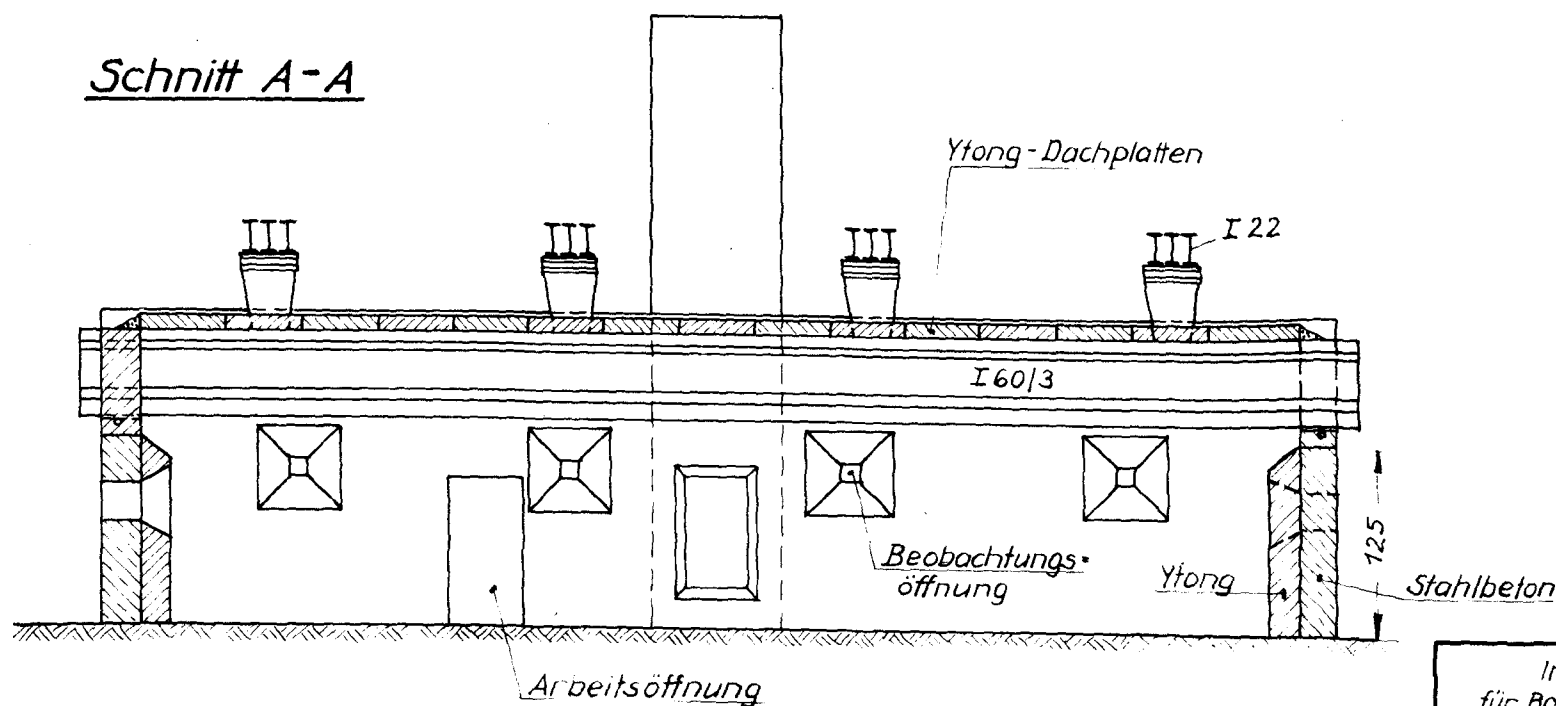


Schnitt B-B



- x 1-6 Temperaturmeßstellen im Untergurtbereich
- x 7-8 Temperaturmeßstellen im Obergurtbereich
- ← Öffnung für Ölbrenner

Schnitt A-A

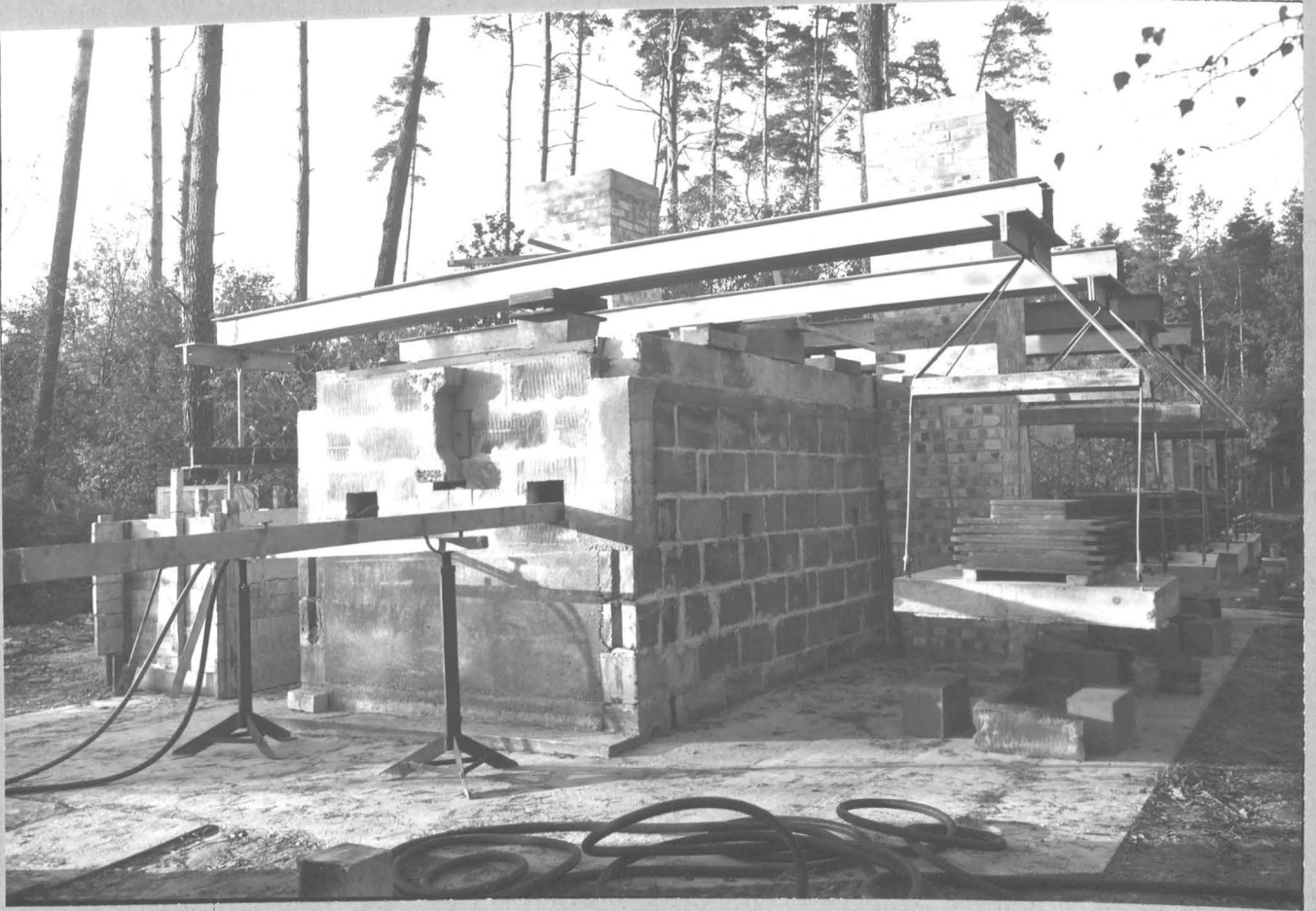


$$\begin{aligned}
 q &= 0,310 \text{ t/m} \\
 P &= 3,410 \text{ t} \\
 \max M &= 16,108 \text{ tm} = 100\% M_{zul} \\
 \max Q &= 8,06 \text{ t} \approx 94\% Q_{zul}
 \end{aligned}$$

Institut
für Baustoffkunde
und Stahlbetonbau
T. H. Braunschweig

Brandhaus-Abmessungen (8 m)
Lage d. Spannbetonträger Profil 60/3
Belastungsvorrichtung

Anlage 6 zum
Untersuchungsbericht
"Spannbetonträger unter
Feuerangriff" 1.3.1963

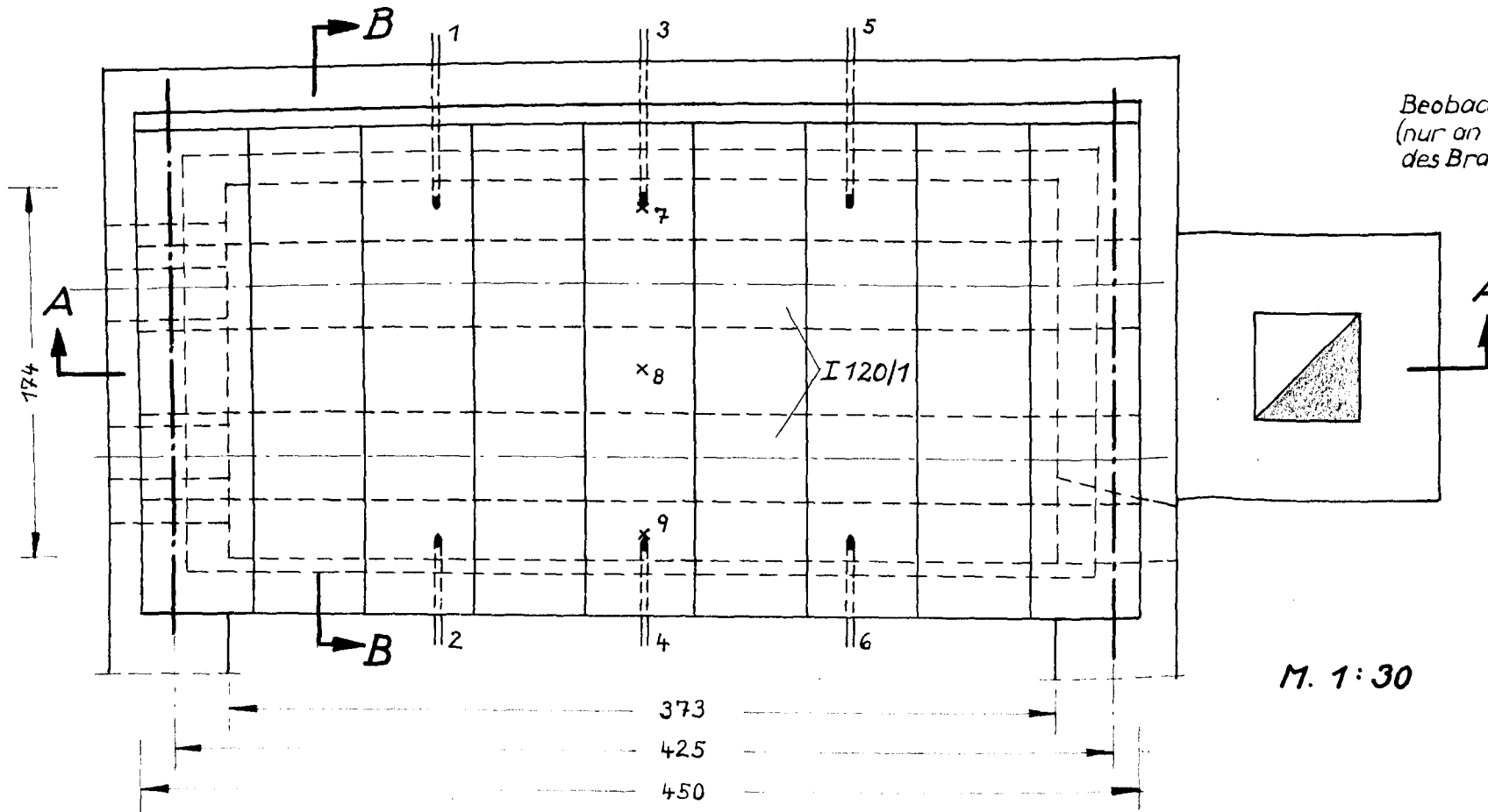


Institut
für Baustoffkunde
und Stahlbetonbau
T. H. Braunschweig

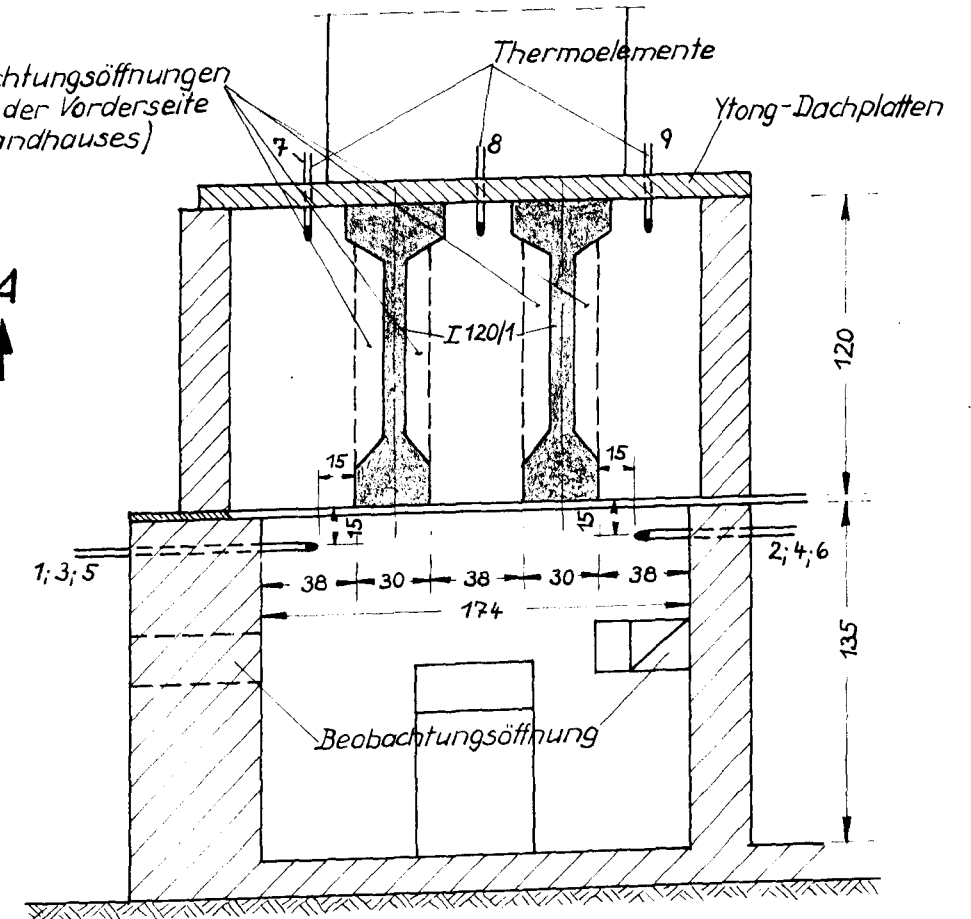
Großes Balkenbrandhaus
Eingebauter 8,5 m langer Spann-
betonträger, Profil 60/3

Anlage 7 zum
Untersuchungsbericht
„Spannbetonträger unter
Feuerangriff“
1. 3. 1963

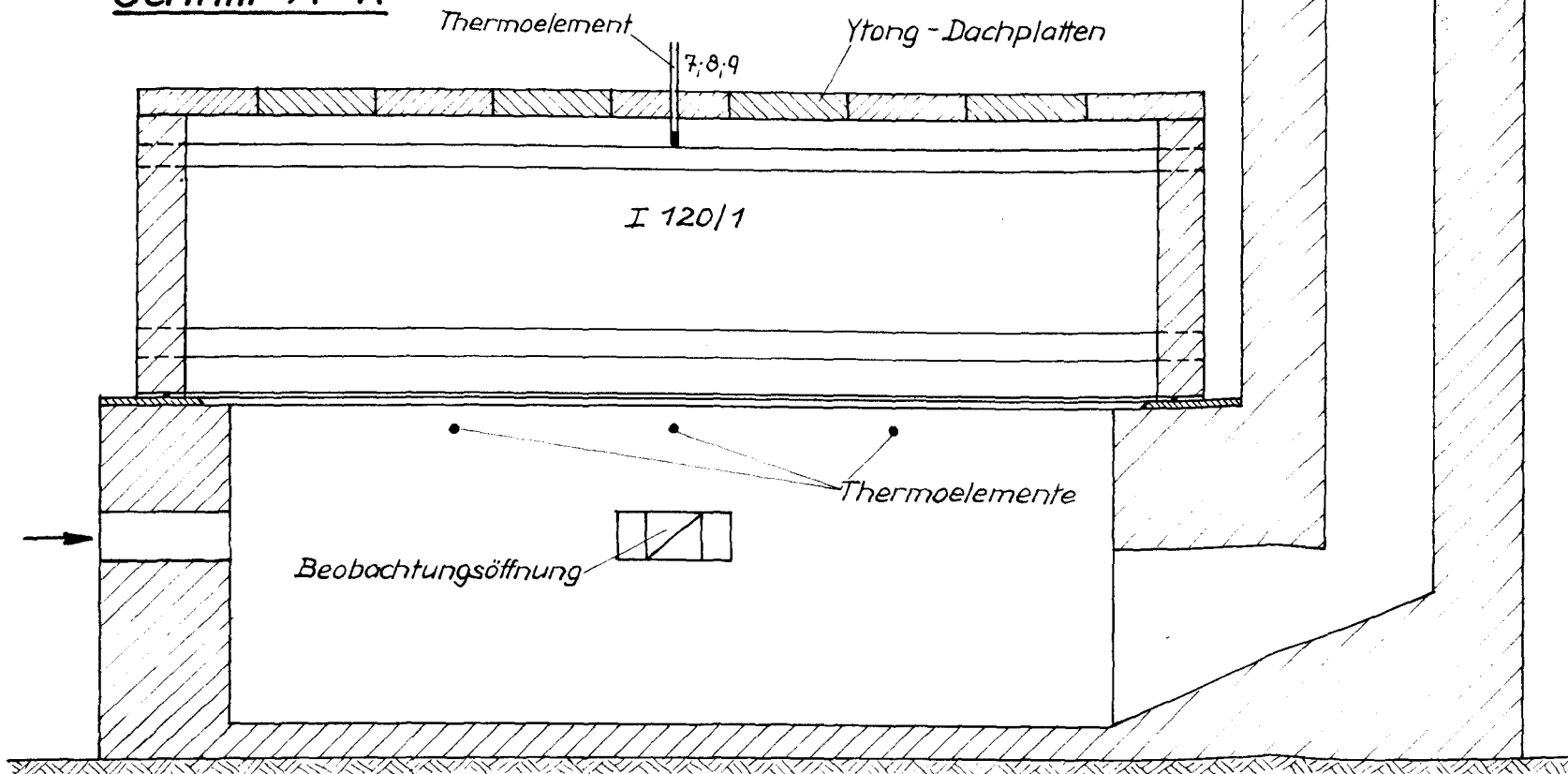
Draufsicht



Schnitt B-B



Schnitt A-A



- 1-6 Temperaturmeßstellen im Untergurtbereich
7-9 Temperaturmeßstellen im Obergurtbereich
← Öffnung für Ölbrenner

Anlage 9

Brandhaustemperaturen in °C

(Lage der Meßstellen siehe Anlage 6 und 8)

Zeit in min	Profil 2) 28/5 Doppelversuch		Profil 60/3 Versuch 1 Versuch 2			Profil 90/1 Doppelversuch		Profil 120/1 Doppelversuch	
	Mittelwerte der Meßstellen Nr.								
	1-6	7-9	1-6	1-6	7-8	1-6	7-9	1-6	7-9
0	53	70	16	22	22	20	20	15	15
5	414	395	350	345	375	315	235	400	300
10	636	618	560	650	625	555	475	535	430
15	733	720	610	705	675	670	590	560	470
20	780	771	665	760	715	755	665	570	490
25	833	826	- ₁₎	- ₁₎	- ₁₎	790	685	615	530
30	876	873	-	-	-	810	705	670	580
40	931	935	-	-	-	830	740	- ₁₎	- ₁₎
50	964	980	-	-	-	- ₁₎	- ₁₎	- ₁₎	- ₁₎

1) Versuch wurde abgebrochen.

2) Die Brandhaustemperaturen bei Versuchsreihe I und II waren bis auf kleine Abweichungen gleich groß.

Temperaturen im Beton und an den Spannstählen,
Profil 28/5

(Lage der Meßstellen siehe Anlage 4; Außenlufttemperatur beim Versuch: -2 °C)

Zeit in min	Träger Nr.	M e ß s t e l l e ¹⁾							
		U-Gurt						Steg	O-Gurt
		untere Ecken		Unterseite		Symmetrieachse		-	Seite
		1	6	2	5	3	4	7	8
0	1 u. 2	60		60		61		64	73
5	1	147	141	123	113	106	114	126	108
	2	140	170	135	147	122	126	126	114
	Mittel	149		129		117		126	111
10	1	223	219	189	176	162	176	199	142
	2	217	250	210	224	185	197	186	155
	Mittel	227		199		180		192	148
15	1	310	306	260	240	223	240	277	187
	2	297	333	285	293	249	256	248	201
	Mittel	311		269		242		262	194
20	1	412	410	351	327	306	322	377	242
	2	385	429	371	377	326	332	329	250
	Mittel	409		356		322		353	246
25	1	472	472	409	383	361	377	445	283
	2	440	515	426	436	382	390	387	286
	Mittel	475		413		378		416	285
30	1	565	570	481	452	433	446	-	339
	2	533	640	570	-	456	481	-	335
	Mittel	577		501		454		-	337
40	1	665	657	602	575	575	565	-	419
	2	623	-	608	-	565	-	-	412
	Mittel	645		595		568		-	415
50	1	-	-	688	-	-	-	-	518
	2	-	-	688	-	682	-	-	523
	Mittel	-		688		682		-	520

1) Mit Strich versehener Meßwert: Meßstelle ausgefallen.

A n l a g e 11

Temperaturen in °C im Beton und an den Spannstählen, Profil 60/3
(Lage der Meßstellen siehe Anlage 4)

Versuch Nr.	Zeit in min	Einzel- und Mittelwerte der Meßstellen ¹⁾ Nr.:																			Luft- tempe- ratur	
		U-Gurt, untere Ecken					U-Gurt, unten			U-Gurt, Seite			U-Gurt innen		Steg		Mittel		O-Gurt			
		1	2	5	6	Mittel 1,2,5,6	3	4	Mittel 3, 4	7	8	Mittel 7, 8	9	10	11	12	Mittel 11,12	13	14	15		
1	0	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	-	-	-	-	-	-	16	
	5	45	47	43	48	46	22	19	21	31	44	38	16	16	-	-	-	-	-	-		
	10	102	113	98	119	108	49	40	45	73	102	88	42	32	-	-	-	-	-	-		
	15	142	138	140	137	139	72	61	67	123	133	128	-	48	-	-	-	-	-	-		
	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
2	0	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	-	7	
	5	50	77	50	77	64	40	63	52	39	37	38	27	27	44	42	43	33	35	-		
	10	134	145	138	145	140	87	122	105	90	92	91	53	43	79	87	83	84	67	-		
	15	-	203	146	198	182	126	155	141	131	137	134	130	70	141	146	144	138	123	-		
	20	-	265	192	250	236	150	191	171	149	154	151	143	116	171	166	169	148	129	-		
	25 ²⁾	-	317	-	301	309	-	224	224	-	191	191	-	-	-	-	-	-	-	-		

1) Mit " - " versehene Meßwerte: Temperaturen wurden nicht registriert.

2) Temperaturen wurden mit einem 6-Farben-Schreiber nach dem Einsturz weitergemessen.

Temperaturen in °C im Beton und an den Spannstählen,
Profil 90/1

(Lage der Meßstellen siehe Anlage 4; Außenlufttemperatur beim Versuch: 6 °C)

Zeit in min	Träger Nr.	Meßstelle						Steg	O-Gurt
		U-Gurt			Symmetrieachse				
		untere Ecke 1	Seite Mitte 2	Seite oben 3	unten 4	Mitte 5	oben 6		
		Mitte - 7	Seite - 8						
0	1 u. 2	20	20	20	20	20	20	20	20
5	1	50	49	42	40	31	33	50	46
	2	56	48	48	45	32	32	64	40
	Mittel	53	49	45	42	32	32	57	43
10	1	106	81	66	66	38	37	82	67
	2	127	78	73	74	37	36	103	52
	Mittel	116	80	69	70	37	36	92	60
15	1	122	122	96	121	57	45	121	94
	2	143	108	101	117	52	52	139	69
	Mittel	132	115	98	119	55	48	130	81
20	1	157	148	123	124	62	55	153	113
	2	168	140	126	126	66	64	168	92
	Mittel	162	144	124	125	64	60	160	103
25	1	184	169	148	111	88	88	182	138
	2	195	153	146	120	78	81	198	114
	Mittel	190	161	147	115	83	84	190	126
30	1	285	203	176	-	109	119	231	196
	2	259	175	165	120	118	109	235	120
	Mittel	272	189	170	120	113	114	233	158
40	1	407	265	219	138	139	131	281	195
	2	290	225	227	167	136	141	316	124
	Mittel	348	245	223	153	138	136	299	160
45	1	-	288	242	162	123	129	314	216
	2	324	242	245	188	131	133	324	134
	Mittel	-	265	243	175	127	131	319	175

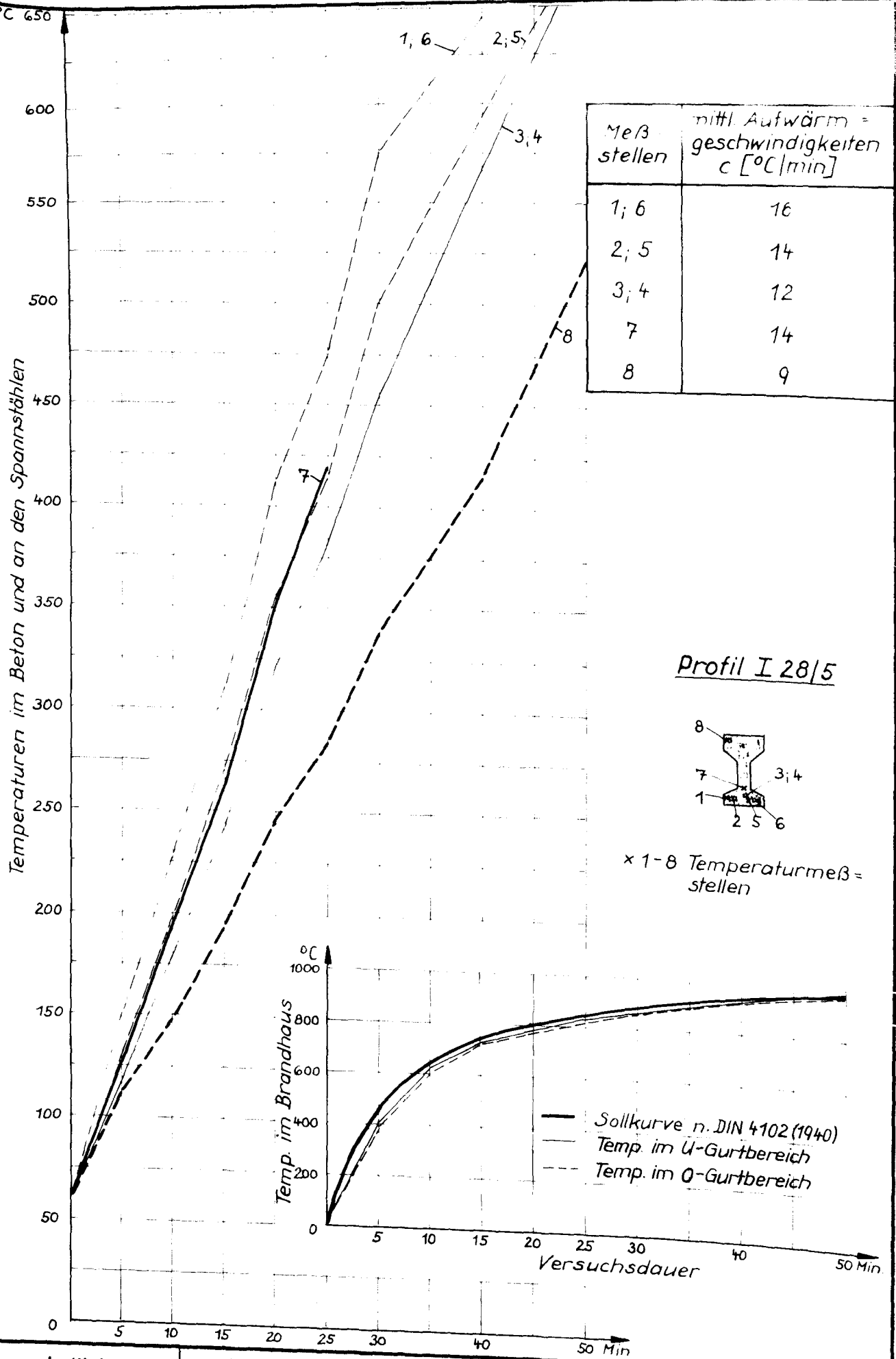
A n l a g e 13

Temperaturen in °C im Beton und an den Spannstählen,
Profil 120/1

(Lage der Meßstellen siehe Anlage 4; Außenlufttemperatur beim Versuch: 15 °C)

Zeit in min	Träger Nr.	Meßstelle						Steg	O-Gurt
		U-Gurt							
		untere Ecke 1	Seite Mitte 2	Seite oben 3	Symmetrieachse				
					unten 4	Mitte 5	oben 6		
0	1 u. 2	15	15	15	15	15	15	15	15
5	1	77	57	28	47	21	20	24	31
	2	97	76	26	69	26	11)	29	28
	Mittel	87	67	27	58	23	20	26	30
10	1	132	87	42	98	33	31	41	48
	2	138	111	36	105	45	-	48	45
	Mittel	135	99	39	101	39	31	45	46
15	1	202	126	63	121	59	33	65	72
	2	182	143	51	121	72	-	71	65
	Mittel	192	135	57	121	65	33	68	69
20	1	249	147	84	155	82	54	91	92
	2	210	160	62	138	90	-	91	86
	Mittel	230	154	73	136	86	54	91	89
25	1	297	173	113	154	99	69	118	108
	2	249	183	76	156	104	-	112	108
	Mittel	273	178	94	155	101	69	115	108
30	1	345	197	131	177	112	83	143	124
	2	294	215	99	177	120	-	138	118
	Mittel	320	206	115	177	116	63	140	121
40	1	403	242	143	208	126	108	148	149
	2	357	288	137	209	131	-	157	136
	Mittel	380	265	140	209	128	108	153	143

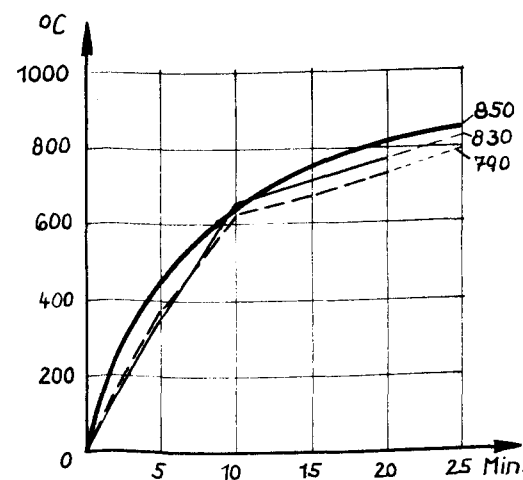
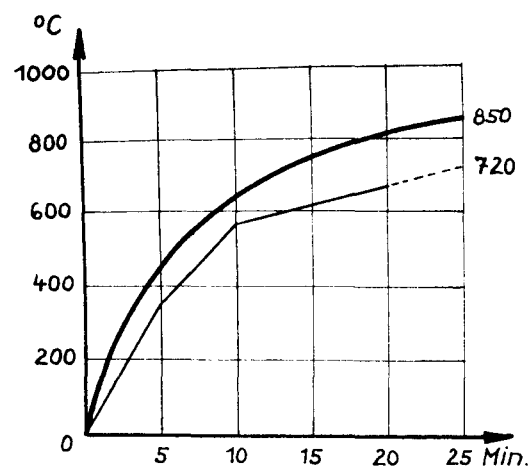
1) Meßstelle ausgefallen



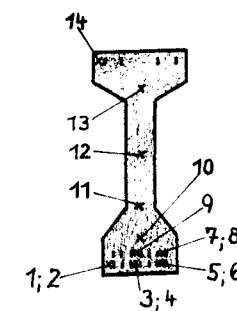
Institut
für Baustoffkunde
und Stahlbetonbau
T. H. Braunschweig

Temperaturen im Beton und
an den Spannstählen
Profil 28/5

Anlage 14 zum
Untersuchungsbericht
„Spannbetonträger unter
„Feuerangriff“ 1.3.1963



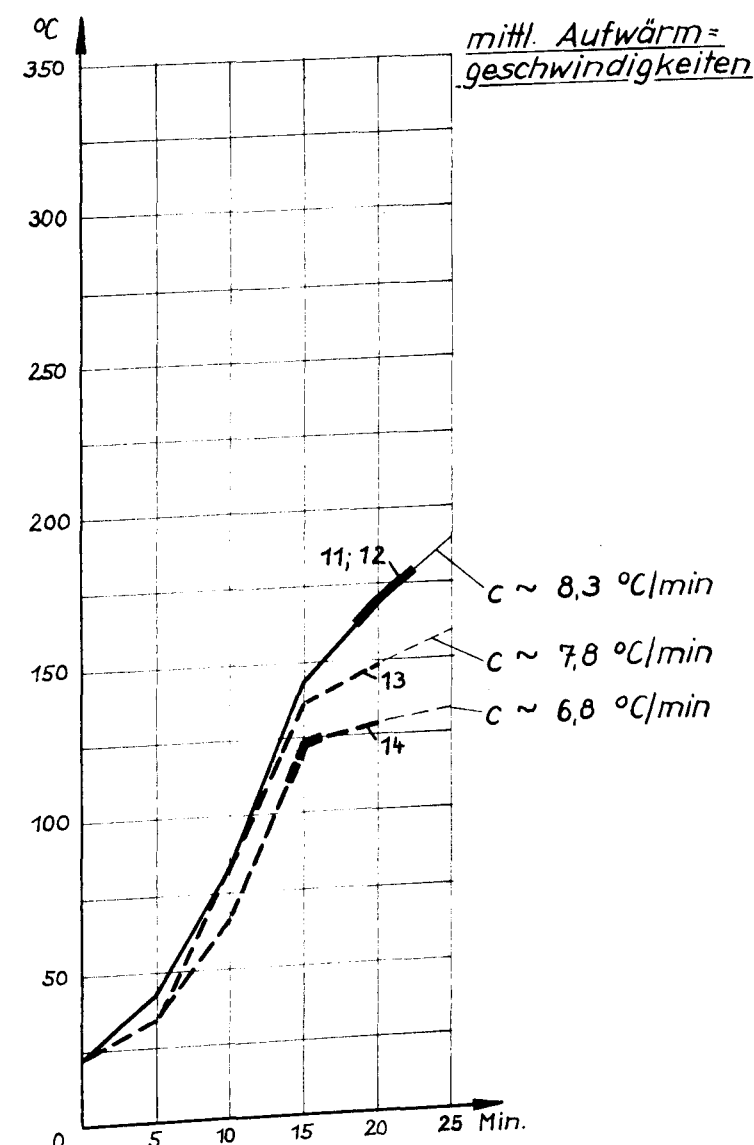
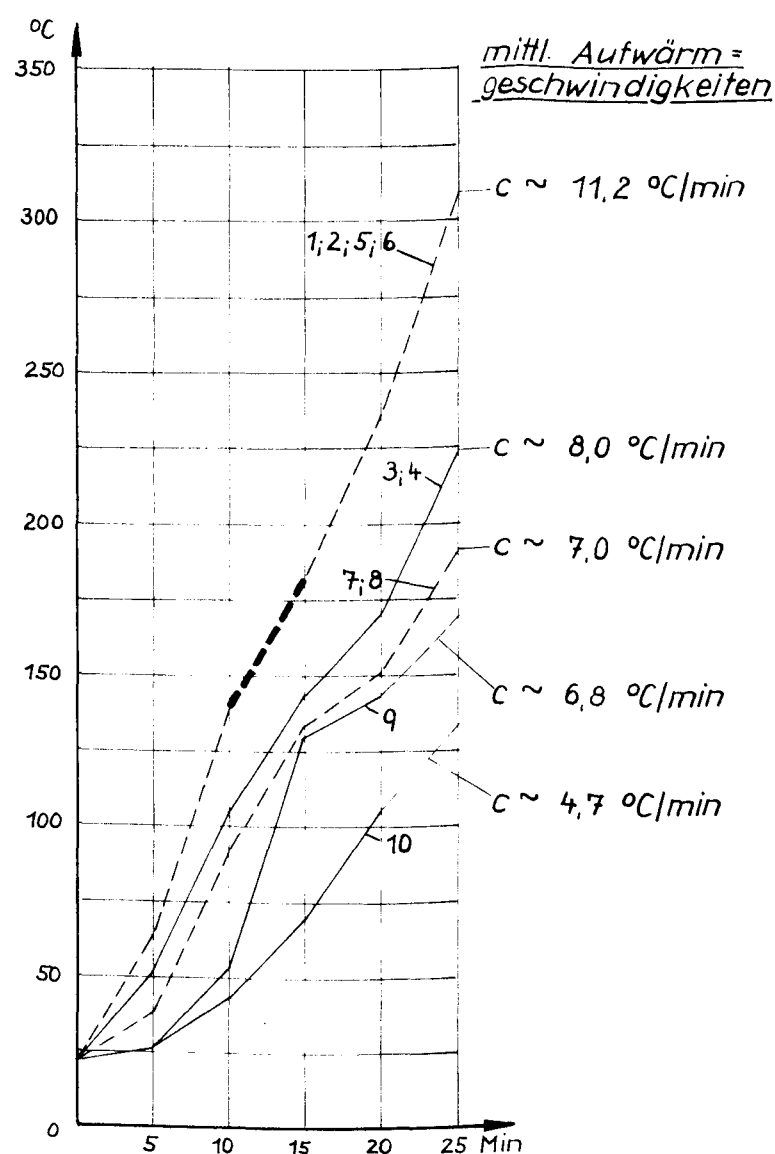
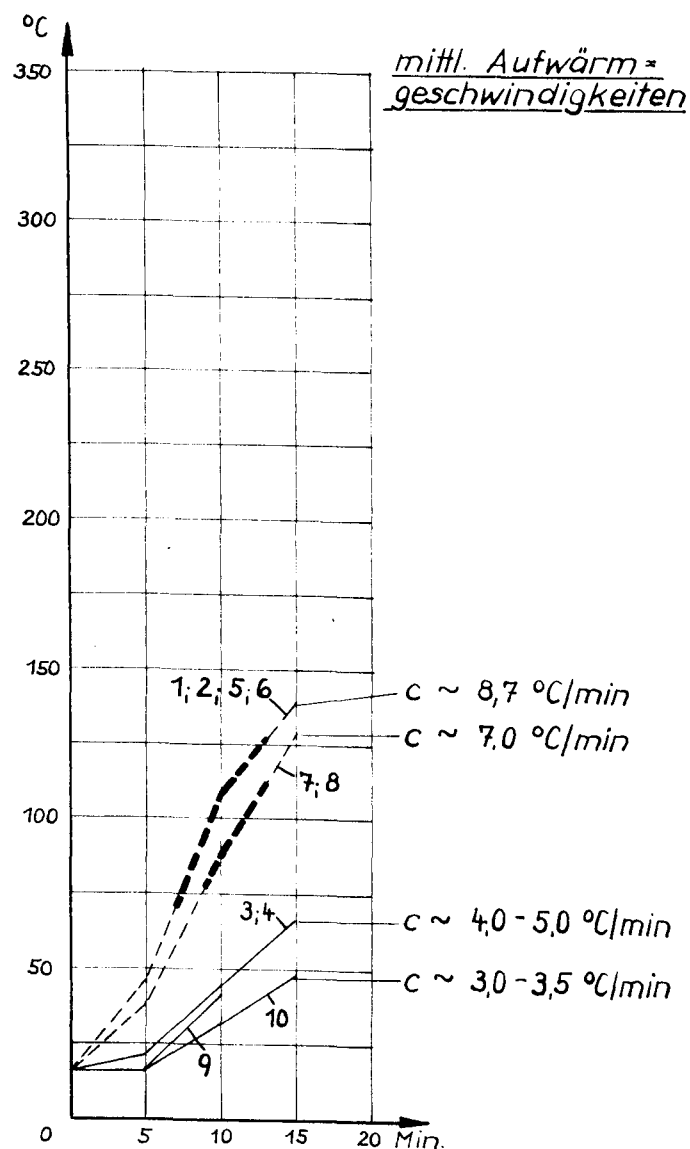
Profil I 60/3



× 1-14 Temperaturmeßstellen

Versuch 1

Versuch 2

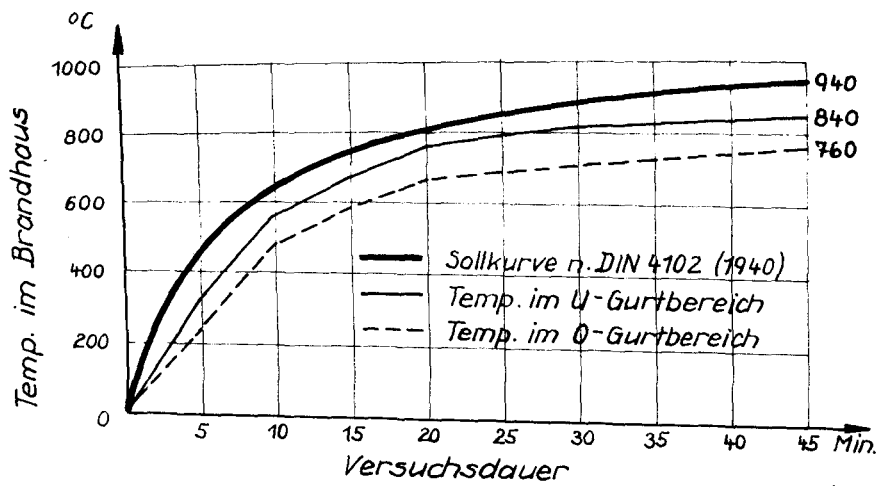


Temperaturzeitpunkte
mit Abplatzungen
(vgl. Anlage 20)

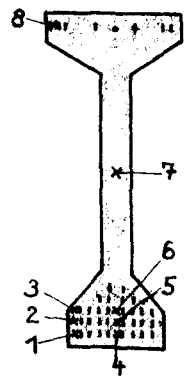
Institut
für Baustoffkunde
und Stahlbetonbau
T. H. Braunschweig

Temperaturen im Beton und
an den Spannstählen
Profil 60/3

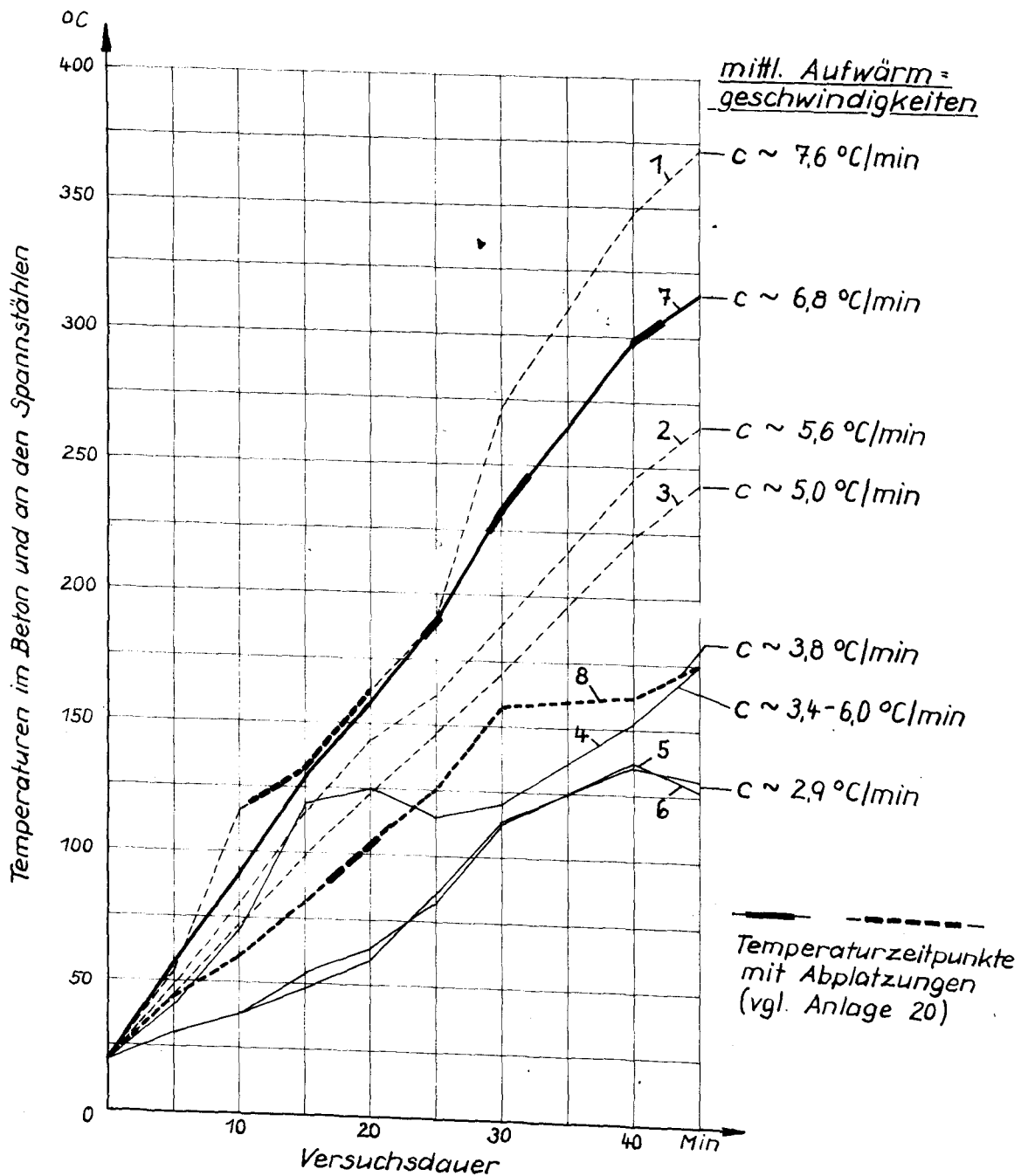
Anlage 15 zum
Untersuchungsbericht
„Spannbetonträger unter
Feuerangriff“ 1.3.1963

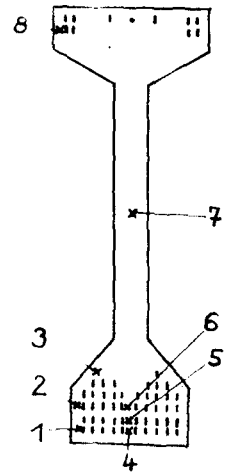
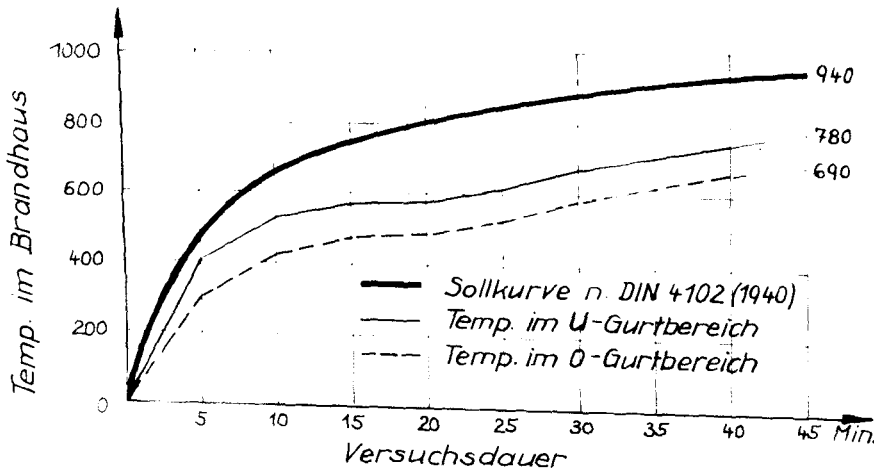


Profil I 90/1



x 1-8 Temperaturmeßstellen





* 1-8 Temperaturmeßstellen

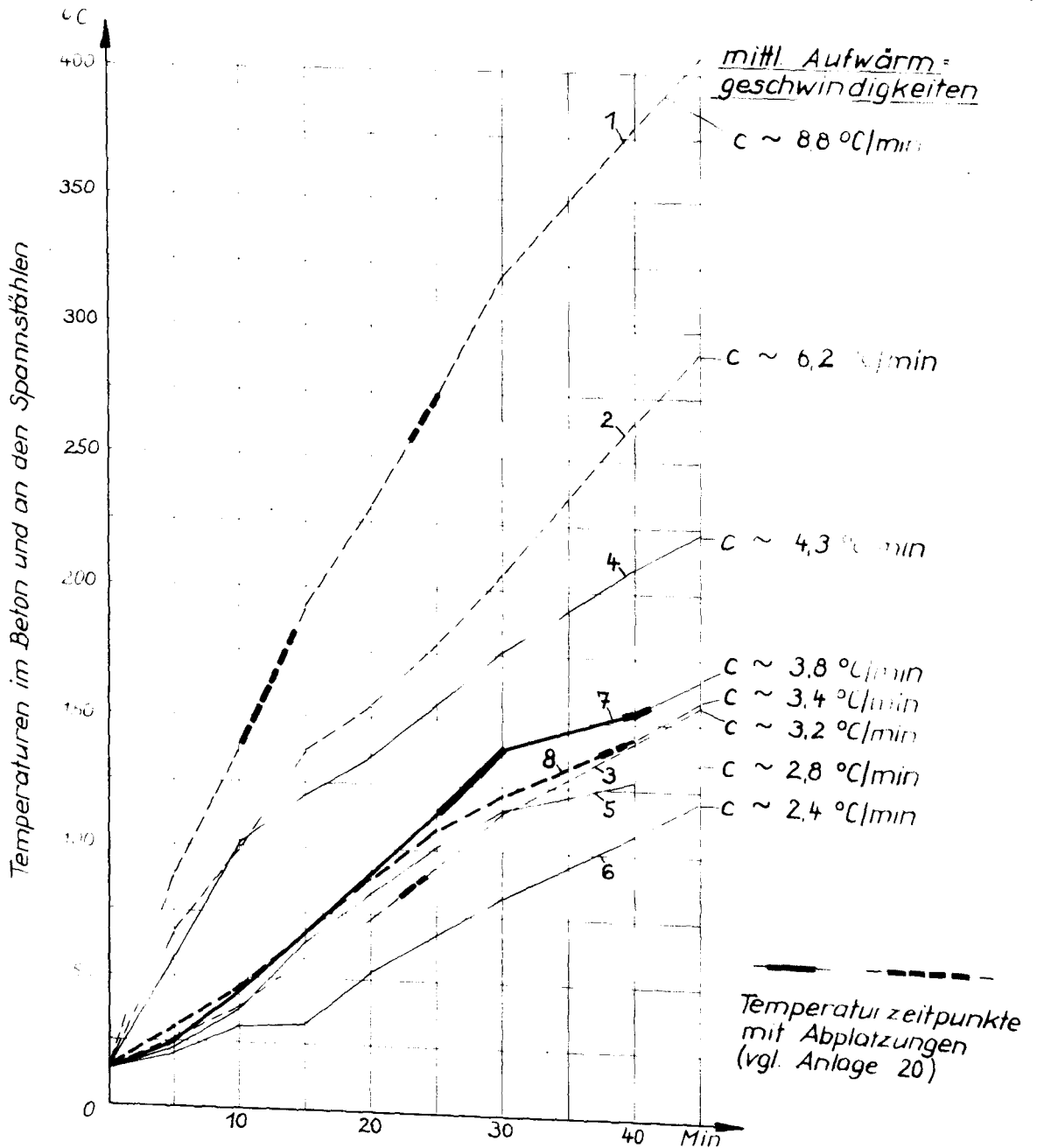


Bild a

Aufwärmgeschwindigkeit c der Stege in Abhängigkeit v. d. Betonüberdeckung \ddot{u}

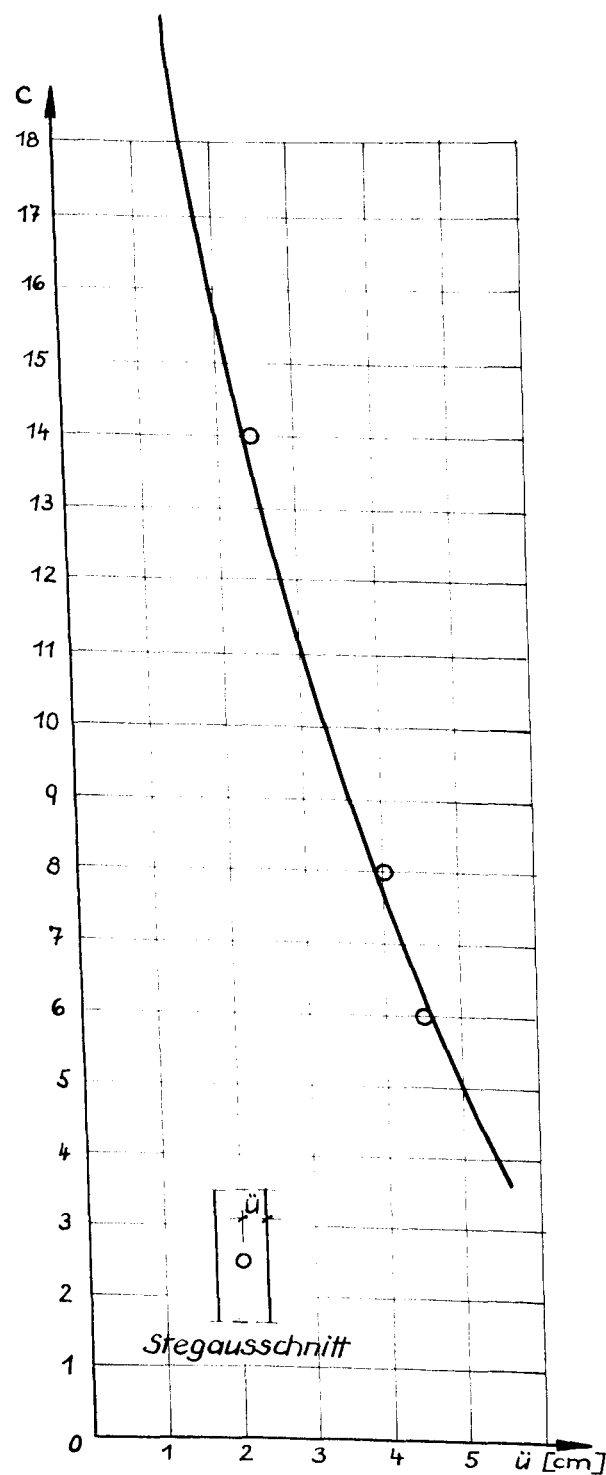


Bild b

Aufwärmgeschwindigkeit c der U-Gurtseiten und -ecken sowie der O-Gurtseiten

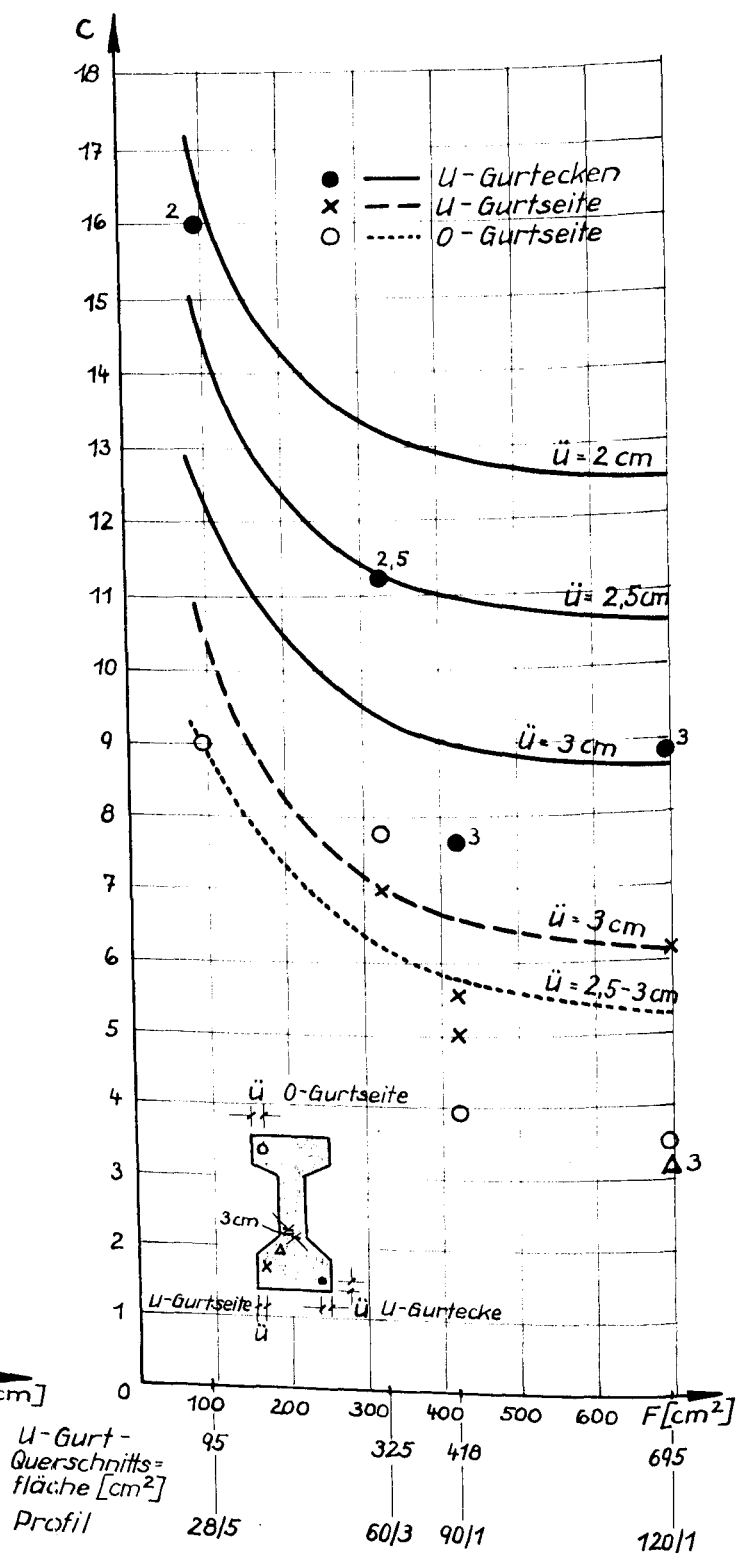
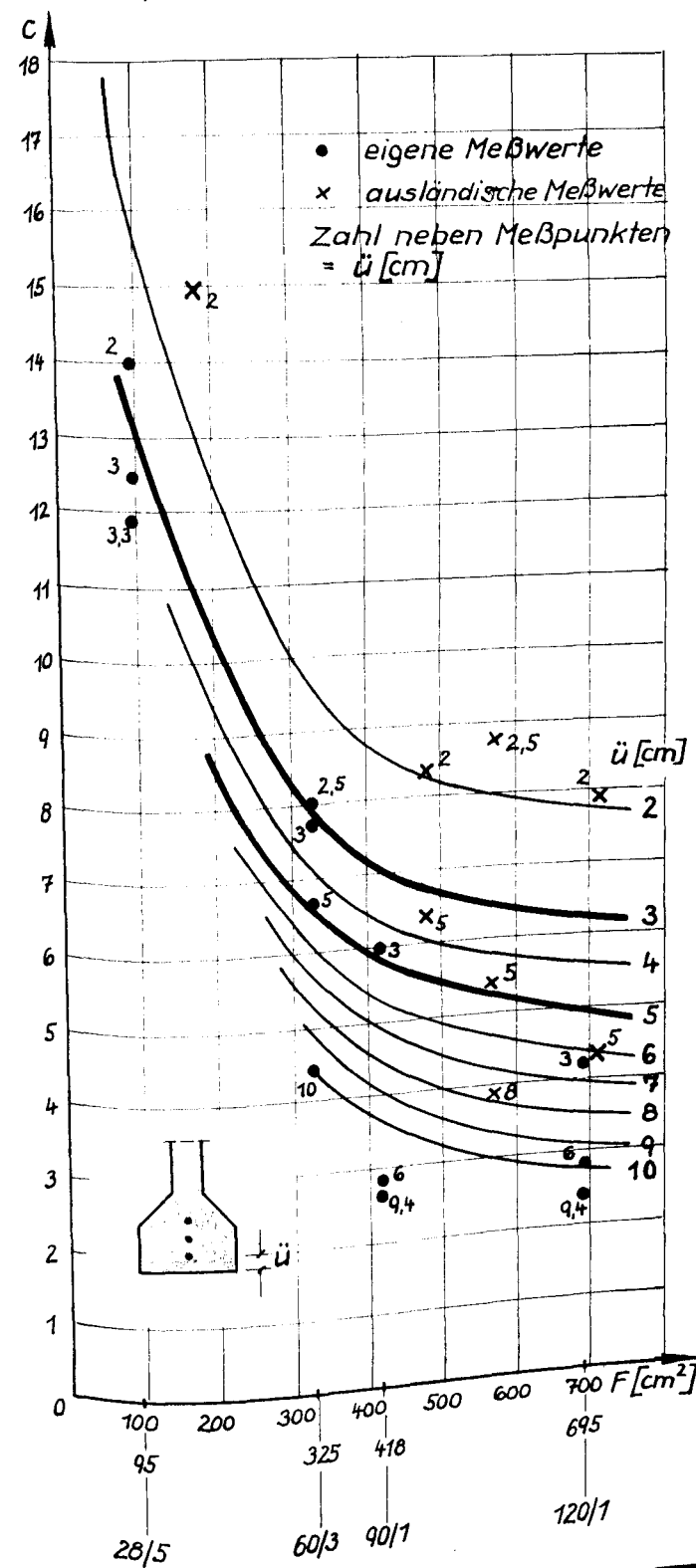


Bild c

Aufwärmgeschwindigkeit c der U-Gurte in der Symmetrieachse



Institut
für Baustoffkunde
und Stahlbetonbau
T. H. Braunschweig

Mittlere Aufwärmgeschwindigkeit
in Abhängigkeit von U-Gurt-
Querschnittsfläche und
Betonüberdeckung

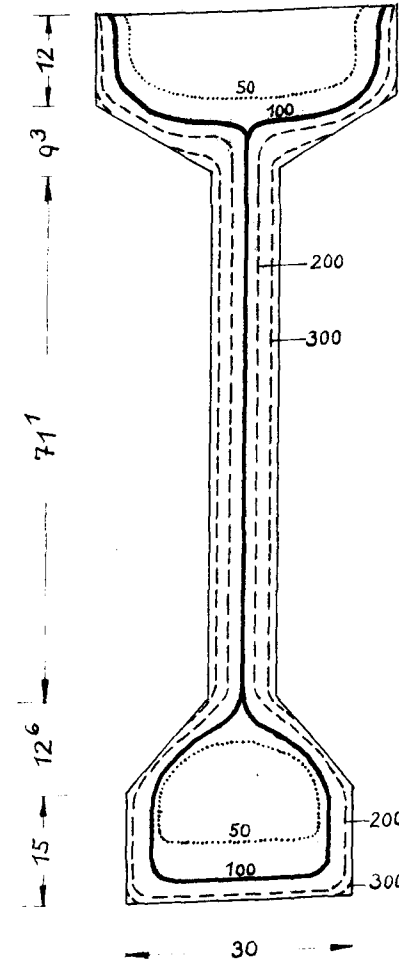
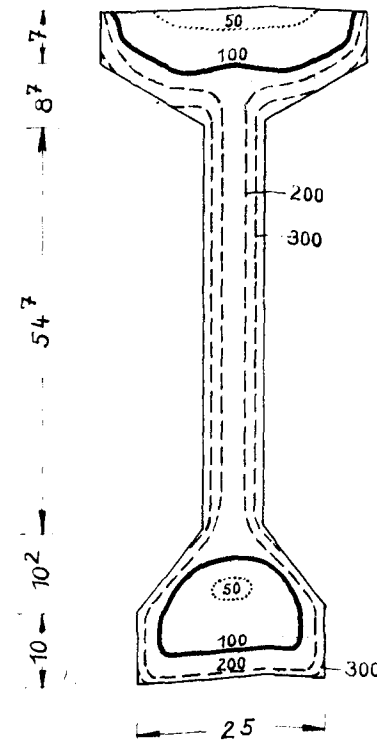
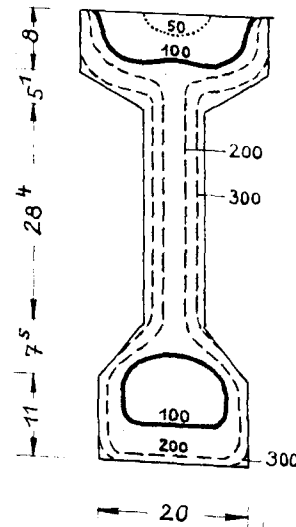
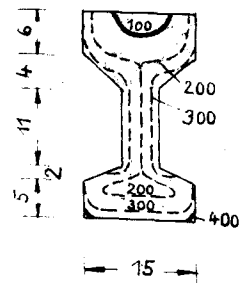
Anlage 18 zum
Untersuchungsbericht
„Spannbetonträger unter
Feuerangriff“ 1.3.1963

I 28/5

I 60/3

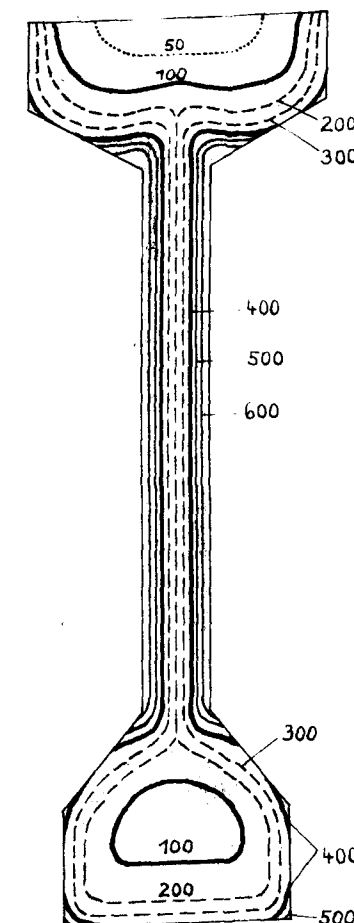
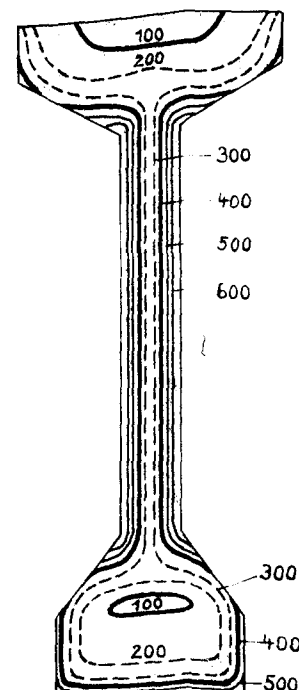
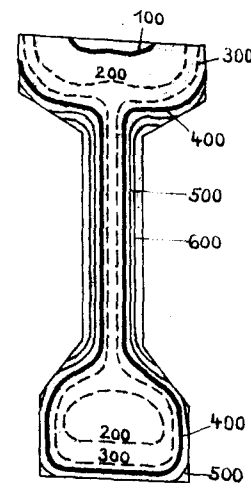
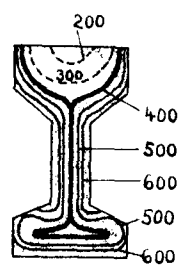
I 90/1

I 120/1

 $t = 15 \text{ min}$ 

Bezeichnung der Isothermen

.....	50 °C
——	100 °C
- - - -	200 °C
- - - -	300 °C
——	400 °C
——	500 °C
——	600 °C

 $t = 30 \text{ min}$ Lage der Spannstähle
siehe Anlage 4Nach Anl. 18 konstruierte
Temperaturverteilungen (Isothermen)Institut
für Baustoffkunde
und Stahlbetonbau
T. H. BraunschweigAnlage 19 zum
Untersuchungsbericht
„Spannbetonträger unter
Feuerangriff“ 1.3.1963

Anlage 20

Beobachtungen während der Versuche

Beobachtungen: Querschnittsskizze		Beobachtungszeitpunkt in min bei Profil											Mittelwerte bei den Trägern 60, 90, 120
		Versuchsreihe I	Versuchsreihe II										
			28/5	28/5		60/3	90/1		120/1				
		Träger											
		1-5	1	2	1	2	1	2	1	2			
Beginn des Wasseraustritts:	Untergurt-Seiten	6-9	während des Versuches		6	5	17		6		~ 8		
	Steg	6-9	kein Wasseraustritt!		16	16	20		20		~ 18		
	Obergurt	-			-	20	20		20		~ 20		
	Ende des Wasseraustritts : insgesamt	14-17			kein Ende		kein Ende		kein Ende		kein Ende		
Kleinere Abplatzungen :	Untergurt, untere Ecke, a ~ 3 cm	vereinzelt 11-24	während des Versuches traten		7-13	10-14	15-20	11-16	10-14	23	~ 13-17		
	Untergurt, obere Ecke, b ~ 3 cm	-			9-13	-	-	-	23	-	-		
	Obergurt, untere Ecke, c ~ 3 cm	-	keine Abplatzungen auf.		9-13	9-14	17-20	17	-	-	~ 13-16		
	Steg, $\phi \sim 30$ bis 50 cm, t ~ 2 cm	-			7-17	-	24-25	32	25	25	~ 22-25		
Größere Abplatzungen oder Vergrößerung der ersten Abplatzungen :	Untergurt, untere Ecke, a ~ 6 cm	Größere Abplatzungen traten nicht auf.	s.o.	-	14-15	-	-	-	23-25	(~ 14-25)			
	Untergurt, obere Ecke, b ~ 6 cm			-	-	-	-	-	-				
	Obergurt, untere Ecke, c ~ 6 cm			19	14-15	19-21	-	38	38	~ 17-38			
	Steg $\phi \sim 40$ bis 80 cm, t ~ 4 cm			19	19	29-31	-	30	30	~ 19-30			
	gesamter Steg durchbrochen		-	s.o.	20	23	40	42	-	40	~ 21-40		
Einsturz :	(nur bei Trägern unter Last)	31-37	-	20	23	-	-	-	-	-			

Bild a



Bild b





Institut
für Baustoffkunde
und Stahlbetonbau
T. H. Braunschweig

Betonabplatzungen
am Spannbetonträger
Profil 90/1

Anlage 22 zum
Untersuchungsbericht
„Spannbetonträger unter
Feuerangriff“
1. 3. 1963





Institut
für Baustoffkunde
und Stahlbetonbau
T. H. Braunschweig

Betonabplatzungen
am Spannbetonträger
Profil 120/1

Anlage 24 zum
Untersuchungsbericht
„Spannbetonträger unter
Feuerangriff“
1. 3. 1963



Institut
für Baustoffkunde
und Stahlbetonbau
T. H. Braunschweig

Betonabplatzungen
am Spannbetonträger
Profil 120/1

Anlage 25 zum
Untersuchungsbericht
„Spannbetonträger unter
Feuerangriff“
1. 3. 1963